



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

***MULTI-OBJECTIVE ECONOMIC EMISSION LOAD
DISPATCH MENGGUNAKAN QUADRATIC PROGRAMMING
PADA PEMBANGKIT YANG BERVARIASI DENGAN
PENAMBAHAN TENAGA ANGIN***

**Idrus Fatkhul Huda
NRP 2211100702**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TE 141599

**MULTI-OBJECTIVE ECONOMIC EMISSION LOAD DISPATCH
USING QUADRATIC PROGRAMMING IN VARIOUS
GENERATION PLANT WITH WIND POWER PENETRATION**

Idrus Fatkhul Huda
NRP 2211100702

Advisor
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**MULTI-OBJECTIVE ECONOMIC EMISSION LOAD DISPATCH
MENGUNAKAN QUADRATIC PROGRAMMING PADA
PEMBANGKIT YANG BERVARIASI DENGAN
PENAMBAHAN TENAGA ANGIN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

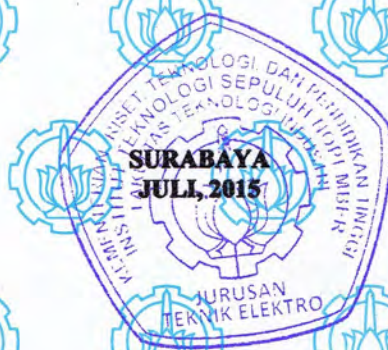
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
NIP.194907151974121001

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP.196404051990021001



Multi-Objective Economic Emission Load Dispatch Menggunakan Quadratic Programming pada Pembangkit yang Bervariasi dengan Penambahan Tenaga Angin

Idrus Fatkhul Huda
2211 100 702

Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D

Dosen Pembimbing 2 : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

Abstrak:

Pembangkit pembangkit thermal dalam sistem *micro grid* seperti turbin mikro, generator diesel, dan sel bahan bakar menghasilkan emisi *sulphur dioxide* (SO_2), *carbon dioxide* (CO_2), dan *nitrogen oxide* (NO_x) yang berbahaya bagi lingkungan. Untuk mendapatkan emisi minimal dan biaya pembangkitan termurah, persamaan *economic* dan *emission dispatch* diubah ke dalam satu persamaan *multiobjective economic emission load dispatch* (MEELD) dengan mengalikan dengan *price penalty factor*. Pada tugas akhir ini, digunakan *quadratic programming* untuk menentukan pembebanan optimal pada masing masing pembangkit. Simulasi dilakukan pada berbagai level beban dan kondisi yang bervariasi. *Quadratic programming* diuji pada sistem dengan komposisi pembangkit thermal yang bervariasi dengan adanya penambahan *renewable energy* dan dibandingkan dengan sistem tanpa *renewable energy*. Hasil simulasi menunjukkan *quadratic programming* dapat menentukan pembebanan tiap pembangkit dalam sistem *micro grid* dengan baik untuk menentukan biaya dan emisi yang paling minimal. Selain itu, Penambahan Pembangkit berbasis *renewable energy* seperti turbin angin dan sel surya membawa pengaruh yang cukup signifikan dalam membantu mengurangi emisi dalam sistem dan meminimalkan biaya pembangkitan.

Kata kunci : MEELD, *Quadratic programming*, *Micro Grid*, *Renewable energy*

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

Multi-Objective Economic Emission Load Dispatch
Menggunakan *Quadratic Programming* in Various Generation Plant
with Wind Power Penetration

Idrus Fatkhul Huda
2211 100 702

Advisor 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
Advisor 2 : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT

Abstract:

Thermal generators in *micro grid* system such as micro turbine , diesel generator and fuel cell produce *sulphur dioxide (SO₂)*, *carbon dioxide (CO₂)*, and *nitrogen oxide (NO_x)* emission which could harm the environment. To get the minimal emission and lowest generation cost, *economic* and *emission dispatch* equation are converted to a single *multiobjective economic emission load dispatch* (MEELD) equation by multiplying with *price penalty factor*. in this final project, *quadratic programming* is used to determine optimal generation in each plant. Simulation run in various load level and condition. *Quadratic programming* was tested in various thermal unit with renewable power penetration and then compared to system without any renewable penetration. The simulation outcome proves that *quadratic programming* can determine optimal generation on each plant well to determine minimal cost and emission. In addition, penetration of *renewable energy* power like wind turbine and photovoltaic gives significant effect to minimize sistem emission and cost.

Kata kunci : MEELD, *Quadratic programming*, *Micro Grid*, *Renewable energy*

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul :

***“Multi-Objective Economic Emission Load Dispatch
Menggunakan *Quadratic Programming* pada Pembangkit yang
Bervariasi dengan Penambahan Tenaga Angin”***

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis tidak lepas dari petunjuk, bimbingan, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis hendak menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberi bantuan baik itu berupa moril maupun material, langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Petunjuk-Nya serta Nabi Muhammad SAW atas tuntunan jalan-Nya.
2. Bapak dan Ibu saya yang telah membesarkan saya dan menyayangi saya serta membiayai saya semasa kuliah.
3. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D dan Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya dalam tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama kuliah, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS.
5. Teman-teman Teknik Elektro ITS 2011 dan Teman-teman se grup TA atas bantuan kalian semua selama Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman SATU MASA dan Pembina CSS MORA ITS yang selalu memberi dukungan dalam suka duka
7. Adik saya Isna Rahmawati yang paling cantik dan lucu

Surabaya, Juli 2015

Penulis

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Permasalahan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
1.7 Relevansi	6
BAB 2 <i>MULTI-OBJECTIVE ECONOMIC EMISSION LOAD DISPATCH</i>	7
2.1 Sistem Kelistrikan <i>Micro Grid</i>	7
2.1.1 Islanded	7
2.1.2 <i>Grid-connected</i>	8
2.1.3 Sel Surya	9
2.1.4 Turbin Angin	10
2.1.5 Sel Bahan Bakar (<i>Fuel Cell</i>)	13
2.1.6 Turbin Mikro (<i>Micro Turbine</i>)	15
2.1.7 Generator Diesel	17
2.1.8 PLN	18
2.2 Emission dan Economic Dispatch	19
2.2.1 Emission	20
2.2.2 Economic Dispatch	22
2.2.3 Constraints	24
2.2.4 Quadratic Programming	27
BAB 3 PENERAPAN <i>QUADRATIC PROGRAMMING PADA MULTI-OBJECTIVE ECONOMIC EMISSION LOAD DISPATCH</i>	31
3.1 Multiobjective Optimization	31

3.2	<i>Quadratic Programming</i> pada Matlab.....	34
3.2.1	Sintaksis <i>Quadratic Programming</i> (quadprog).....	34
3.2.2	Input Argumen dari <i>Quadratic Programming</i> (quadprog).....	35
3.2.3	<i>Quadratic Programming</i> (quadprog) Pada <i>Multi-Objective Economic Emission Load Dispatch</i> (MEELD)	35
3.2.3.1	Inisialisasi Permasalahan <i>Multi-Objective Economic Emission Load Dispatch</i>	35
3.2.3.2	Pembentukan Matrik H <i>Simetris</i> yang Menyatakan Bentuk <i>Kuadrat</i> dari Persamaan	37
3.2.3.3	Pembentukan Vektor F linier yang Menyatakan Bentuk Linear dari <i>Cost Function</i>	38
3.2.3.4	Pembentukan Matrik Aeq yang Menyatakan Koefisien Linear dari <i>Equality Constrain Aeq</i> * $x = Beq$	38
3.2.3.5	Vektor Beq yang Menyatakan Vektor Konstan dari <i>Equality Constrain Aeq</i> * $x = Beq$	39
3.2.3.6	Pembentukan Vektor <i>lb</i> dan <i>ub</i> yang Menyatakan Batas Atas dan Batas Bawah	39
3.2.3.7	<i>Quadratic Programming</i> pada <i>Multi-objective Economic Emission Load Dispatch</i>	40
3.2.3.8	Implementasi pada sistem kelistrikan <i>Micro Grid</i> ..	42
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS		45
4.1	Validasi.....	45
4.1.1	Validasi <i>Quadratic Programming</i> pada <i>Multi-Objective Economic Emission Load Dispatch</i> dengan Paper IEEE (11).....	45
4.1.1.1	Simulasi untuk Validasi <i>Quadratic Programming</i> Pada <i>Multi-Objective Economic Emission Load Dispatch</i> dengan Paper IEEE.....	47
4.1.1.2	Analisis Validasi <i>Quadratic Programming</i> pada <i>Multi-Objective Economic Emission Load Dispatch</i> dengan Paper IEEE	52
4.2	Studi Kasus.....	52
4.2.1	Studi Kasus 1	53
4.2.2	Studi Kasus 2	54
4.2.3	Studi Kasus 3	56
4.2.4	Studi Kasus 4	58
4.2.5	Studi Kasus 5	60

4.2.6 Studi Kasus 6.....	64
4.2.7 Studi Kasus 7.....	66
BAB 5 PENUTUP.....	69
5.1 KESIMPULAN.....	69
5.2 SARAN.....	69
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	73
RIWAYAT HIDUP PENULIS.....	83

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data <i>Emission Cost</i> pembangkit thermal.....	21
Tabel 2.2	Data Fuel Cost pembangkit thermal	25
Tabel 4.1	Data <i>Cost Function</i> pembangkit thermal.....	45
Tabel 4.2	Data <i>emission function</i> pembangkit thermal	46
Tabel 4.3	Data B koefisien Pada Orde 10^{-6}	46
Tabel 4.4	Data beban dan price penalty factor	46
Tabel 4.5	Hasil pembebanan tiap unit pembangkit <i>multi-objective economic emission load dispatch</i> ” pada paper.....	47
Tabel 4.6	Hasil biaya, emisi dan losses sistem dari paper	47
Tabel 4.7	Hasil running simulasi pembebanan tiap unit pembangkit <i>multi-objective economic emission load dispatch</i>	48
Tabel 4.8	Hasil running simulasi losses, biaya dan emisi menggunakan <i>multi-objective economic emission load dispatch</i>	48
Tabel 4.9	Data inputan pembangkit renewable Studi kasus 1	53
Tabel 4.10	Hasil Simulasi Studi kasus 1	53
Tabel 4.11	Data inputan pembangkit renewable Studi kasus 2	55
Tabel 4.12	Hasil Simulasi Studi kasus 2	55
Tabel 4.13	Data inputan pembangkit renewable Studi kasus 3	56
Tabel 4.14	Hasil running simulasi studi kasus 3 (<i>economic dispatch</i>)	57
Tabel 4.15	Data inputan pembangkit renewable Studi kasus 4	59
Tabel 4.16	Hasil running simulasi studi kasus 4 (<i>emission dispatch</i>)	59
Tabel 4.17	Data inputan pembangkit renewable Studi kasus 5	61
Tabel 4.18	Hasil running simulasi studi kasus 5 (<i>Multi-objective economic emission load dispatch</i>).....	61
Tabel 4.19	Perbandingan total biaya pada studi kasus 3, 4 dan 5	62
Tabel 4.20	Perbandingan total emisi pada studi kasus 3, 4 dan 5	63
Tabel 4.21	Data inputan pembangkit renewable Studi kasus 6	65
Tabel 4.22	Hasil simulasi Studi kasus 6	65
Tabel 4.23	Data inputan pembangkit renewable Studi kasus 7	67
Tabel 4.24	Hasil simulasi Studi kasus 7	67

- Halaman ini sengaja dikosongkan -

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tipe <i>Micro Grid Islanded</i>	7
Gambar 2.2	Tipe <i>grid-connected</i> dari <i>Micro Grid</i>	8
Gambar 2.3	Sistem Kelistrikan <i>Micro Grid</i>	9
Gambar 2.4	Kurva daya actual dan modelnya dari AIR403	12
Gambar 2.5	Fungsi biaya bahan bakar <i>fuel cell</i>	15
Gambar 2.6	Fungsi biaya bahan bakar turbin mikro	16
Gambar 2.7	Fungsi biaya bahan bakar diesel generator	17
Gambar 2.8	Fungsi emisi pembangkit thermal	22
Gambar 2.9	Fungsi biaya bahan bakar pembangkit thermal	26
Gambar 3.1	Diagram alir perhitungan <i>price penalty factor</i>	31
Gambar 3.2	Diagram alir <i>quadratic programming</i> pada <i>Multi-objective Economic Emission Load Dispatch</i>	42
Gambar 3.3	Implementasi pada sistem <i>Micro Grid</i>	43
Gambar 4.1	Pengaruh <i>weighting factor</i> terhadap biaya pembangkitan	48
Gambar 4.2	Pengaruh <i>weighting factor</i> terhadap emisi	49
Gambar 4.3	<i>Pareto Optimal Curve</i> pada level beban 700 MW	49
Gambar 4.4	Diagram perbandingan pembebanan tiap pembangkit pada beban 700 MW	50
Gambar 4.5	Diagram perbandingan pembebanan tiap pembangkit pada beban 900 MW.	50
Gambar 4.6	Diagram perbandingan biaya pembangkitan pada simulasi dan paper	51
Gambar 4.7	Diagram perbandingan emisi pada simulasi dan paper	51
Gambar 4.8	Diagram perbandingan losses pada simulasi dan paper	51
Gambar 4.9	Perbandingan daya sel surya , turbin angin dan daya jual ke PLN	54
Gambar 4.10	Porsi Pembebanan pada Pembangkit Renewable dan PLN	55
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan daya yang dibangkitkan masing masing generator pada <i>economic dispatch</i>	57
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan daya yang dibangkitkan masing masing generator pada <i>emission dispatch</i>	59

Gambar 4.13 Grafik Perbandingan daya yang dibangkitkan masing masing generator pada *multi-objective economic emission load dispatch*61

Gambar 4.14 Diagram perbandingan total biaya pada *economic , emission* dan *multi-objective economic emission load dispatch*63

Gambar 4.15 Diagram perbandingan total emisi pada *economic , emission* dan *multi-objective economic emission load dispatch*64

Gambar 4.16 Diagram perbandingan porsi pembebanan pembangkit thermal, *renewable* dan PLN65

Gambar 4.17 Diagram pengaruh penambahan renewable energy terhadap biaya pembangkitan67

Gambar 4.18 Diagram pengaruh penambahan renewable energy terhadap emisi.....68

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Imam Robandi , “*Modern Power System Control* ”, Penerbit ANDI, Yogyakarta , 2009
- (2) Wang Jiang-hai, TAI Neng-ling, SONG Kai, “*Penetration level permission of DG in Distribution Network Considering Relay Protection*” Proceedings of the CSEE , 30 (2010) , No. 22 , 37-43
- (3) YU Kun, CAO Yijia , CHEN Xingying, “*Dynamic Probability Power Flow of District Grid Containing Distributed Generation* ”, Proceeding of CSEE , 31 (2011), No. 1 , 20-25
- (4) Naoto Yorino, Hafiz Mohd Habibuddin , Zoka Yushifumi , Sasaki Yutaka, Ohnishi Yuji, “*Dynamic Economic Dispatch with Generator's Feasible Region*” , Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010 Asia-Pasific , 10.1109/APPEEC.2010.5448180 , 2010
- (5) D. W. Ross, S. Kim, “*Dynamic Economic Dispatch of Generation*”, IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, Vol PASS-99, No. 6 , pp. 2060-2068, Nov . 1980
- (6) Mohamed Faisal A, Koivo Heikki., “System modelling and online optimal management of MicroGrid using mesh Adaptive Direct Search” , *International Journal of Electrical Power and Energy System*, Vol. 32 , No. 5 . 2010 , pp . 398-407
- (7) S. Campanari and E. Macchi. Technical and tariff scenarios effect on microturbine trigenerative application . *Journal of Engineering for Gas turbines and Power*, 126:581 – 589 , July 2004.
- (8) Morgantown , W, “Emission rates for new DG technologies” , *The Regulatory Assistance Project., Online*
- (9) Wibowo, Rony Seto, Sidarjanto, Syarifuddin, M. “Studi Multi Onyektif Economy-Emission Dispatch untuk mengurangi Emisi SO₂ pada Sistem Tenaga Listrik” , Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro ITS , 1999.
- (10) Mohamed, Faisal A. “Microgrid modelling and online management.” (2008)
- (11) F.Z. Gherbi, F. Lakdja. “Environmentally Constrained Economic Dispatch Via Quadratic Programming” IEEE Conference Publication, 10.1109/ECS.2014.6892680, 2014.

- (12) Christof D. , Tine L.V. , Moradzadeh M. “Multi-objective optimization for environomics cheduling in microgrid ” ,*PES General Meeting Conference & Exposition* , Juli 2014
- (13) Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, “*Power, Generstion , Operation , and Control*” John Willey & Sons Inc, AmerICA , 1996
- (14) Jizhong Zhu, “*Optimization of Power System Operation*”, IEEE Press series on Power Engineering , OPSO, John Willey & Sons Inc, America, 2009.
- (15) Hariadi Viktor , Soeliman Rully, “*Application of Adaptive Barrier Function for Solving Nonlinier Optimization Problem : Quadratic Programming Problem (as Case Study)* ”, International Conference on Informatics Development, pp. 17-21, 2011.
- (16) R. M. S. Danaraj , F. Gajendran, “Quadratic Programming Solution to Economic Emission Dispatch Problem” IE (1) Journal EL vol. 86 , September 2005
- (17) R. Belhachem , et al. “*Dynamic Economic Load Dispatch Using Quadratic Programming and GAMS*” Acta Electrotechnica , 2013.
- (18) Sulistijono P, Penangsang O., Wibowo. Rony Seto “Emission dan Economic Dispatch pada Sistem Kelistrikan Micro Grid Menggunakan Multiobjective Genetic Algorithm optimization” Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro ITS , 2014.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



IDRUS FATKHUL HUDA, lahir di Tulungagung , 12 November 1992 sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Penulis sempat menempuh pendidikan di MTsN Ngantru pada 2005 - 2008, kemudian melanjutkan ke SMA Terpadu Abul Faidl Blitar dan lulus pada tahun 2011, lalu melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Elektro ITS pada tahun 2011 melalui jalur beasiswa KEMENAG dan memilih bidang studi teknik sistem tenaga. Penulis sempat aktif di kegiatan keilmiahan , UKM Robotika, UKM cinta rebana, CSS MoRA, dan Divisi workshop Himatektro ITS. Penulis dapat dihubungi melalui email: **idrusfatkhulhuda@yahoo.com**

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan teknologi, permintaan akan pemenuhan kebutuhan energi listrik terus meningkat. Tingginya permintaan daya listrik dan meningkatnya kebutuhan listrik dari waktu ke waktu membuat suplai tenaga listrik harus terus ditambah. Ditengah semakin menipisnya bahan bakar fosil, maka sudah saatnya pembangkitan listrik diarahkan pada pembangkit pembangkit yang terbarukan yang ramah lingkungan, murah dan tersedia di alam. Sejak revolusi industri, kebutuhan energi listrik meningkat tajam [1]. Seiring dengan besarnya daya yang dibutuhkan oleh konsumen dan area cakupan konsumen yang sangat luas maka perlu dilaksanakannya pembangkitan tersebar untuk mendukung sistem tersebut, baik menyokong maupun memperbaiki keandalan sistem, [2,3]. *Economic dispatch (ED)* adalah aspek yang harus dipertimbangkan dalam pengoperasian sistem kelistrikan agar menjadi sistem yang optimal (mencapai biaya yang minimal) dalam constraint sistem tersebut[4]. ED mempunyai fungsi yang sangat penting yaitu untuk menentukan pembebanan dari masing masing pembangkit yang ada dalam sistem sehingga diperoleh pembebanan yang paling murah dan optimal [5].

Dalam lingkup *Micro Grid*, beberapa pembangkit thermal yang sering digunakan yaitu turbin mikro, generator diesel, dan sel bahan bakar. Pembangkit pembangkit ini memerlukan bahan bakar dan memerlukan biaya yang cukup besar untuk operasinya, selain itu pembangkit thermal ini juga mengeluarkan emisi yang dapat mengganggu lingkungan. Selain pembangkit Thermal, ada juga pembangkit-pembangkit terbarukan seperti turbin angin dan sel surya yang sangat ramah lingkungan dan bisa menjadi *alternative* untuk membangkitkan daya listrik [6]. Dalam sistem kelistrikan yang besar, pembangkit pembangkit skala kecil seperti diatas biasanya terhubung dengan grid grid kecil yang dinamakan *Micro Grid*. Dalam sistem kelistrikan *Micro Grid*, terdapat berbagai komponen yang saling mendukung dalam terciptanya suatu sistem tenaga listrik, masing masing pembangkit dimodelkan berdasarkan kurva karakteristiknya dan sesuai dengan *constraint*-nya masing masing, sistem *Micro Grid* sendiri harus fleksibel dalam mensuplai beban yang

ada. ketika beban lebih kecil dari pada pembangkitan yang ada dalam sistem, daya di jual ke grid utama , dan ketika beban yang ditanggung lebih besar sehingga harus membeli daya dari grid utama [7]. Biaya operasi yang termurah bukan merupakan satu satunya fungsi objektif yang bisa dicapai, seiring dengan banyak nya isu tentang pencemaran lingkungan maka emisi yang dihasilkan oleh pembangkit pembangkit thermal pun harus diperhatikan pembangkit thermal menggunakan bahan bakar baik berupa batubara, minyak maupun gas alam yang menghasilkan pencemaran lingkungan, Sehingga dampaknya akan kurang baik bagi lingkungan dan atmosfer udara kita. Polusi yang biasa dihasilkan oleh pembangkit-pembangkit thermal berupa *sulphur dioxide* (SO_2), *carbon dioxide* (CO_2), dan *nitrogen oxide* (NO_x) , emisi ini harus diminimalkan karena berbahaya bagi lingkungan [8]. Oleh karena itu sangat penting bagi sebuah sistem untuk bisa menentukan biaya operasi dan juga emisi yang minimal dari masing-masing pembangkit tersebar dalam sistem *Micro Grid* tersebut.

Pembebanan ekonomis (*economic dispatch*), pembebanan emisi (*emission dispatch*) maupun pembebanan ekonomis dengan mengendalikan emisi (*economic emission dispatch*) yang adalah permasalahan multiobjektif yang mendapat peranan tersendiri dalam operasi ekonomis sistem tenaga listrik dan banyak mendapatkan perhatian para peneliti. Ada banyak cara untuk memasukkan emisi dalam persamaan *economic dispatch*, salah satunya adalah dengan mengkombinasikan *economic* dan *emission dispatch* yang diubah ke dalam satu persamaan *multiobjektif economic emission load dispatch* (MEELD) dengan menambahkan *price penalty factor* untuk mendapatkan biaya dan emisi pada tiap tiap pembangkit secara optimal, selain itu ditambahkan juga *weighting factor* untuk menambah variasi pilihan hasil dalam penentuan *economic emission dispatch*. Dalam penelitian ini ramp rate dan valve point effect diabaikan. Penelitian ini memberikan sebuah pendekatan yang sederhana dan efektif untuk mencari solusi optimal permasalahan tersebut dengan menggunakan metode *quadratic programming*. *Quadratic programming* merupakan metode optimasi yang bisa menemukan solusi global untuk memaksimalkan atau meminimalkan suatu fungsi objektif *quadratic* dan batasan batasan linier. Quadratic programming akan diaplikasikan pada system dengan bervariasi pembangkit dengan tambahan *renewable energy* agar diperoleh efek dan karakteristik dari penambahan turbin angin dan sel surya pada system tenaga listrik.

1.2 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian mengenai topik tugas akhir ini adalah :

1. Membuat program *multiobjective economic emission dispatch* menggunakan *quadratic programming*
2. Mengetahui performa *quadratic programming* untuk menyelesaikan masalah MEELD pada sistem dengan bermacam macam jenis pembangkit dengan penambahan tenaga angin dan sel surya dalam sistem *Micro Grid*
3. Menyelesaikan permasalahan MEELD yaitu menentukan kombinasi biaya pembangkitan dan emisi yang optimal menggunakan *quadratic programming* pada sistem dengan bermacam macam jenis pembangkit dengan penambahan tenaga angin dan sel surya dalam sistem *Micro Grid*

1.3 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat program *multiobjective economic emission dispatch* menggunakan *quadratic programming* ?
2. Bagaimana performa *quadratic programming* untuk menyelesaikan masalah MEELD pada sistem dengan bermacam macam jenis pembangkit dengan penambahan tenaga angin dan sel surya dalam sistem *Micro Grid*?
3. Bagaimana menentukan pembebanan yang optimal pada setiap unit pembangkit sehingga kebutuhan beban dapat terpenuhi dengan biaya dan emisi yang paling minimal pada sistem dengan bermacam macam jenis pembangkit dengan penambahan tenaga angin dan sel surya dalam sistem *Micro Grid*?

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ketersediaan bahan bakar tak terbatas.
2. Kerugian pada jaringan transmisi diabaikan.
3. Ramp rate diabaikan
4. *Valve Point effect* diabaikan
5. Sistem dalam keadaan stabil dan steady state.

6. Model sistem *Micro Grid* yang digunakan berdasarkan referensi buku dan jurnal.
7. Simulasi digunakan dengan menggunakan software Matlab.

1.5 Metodologi

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan penelitian mengenai economic dispatch, emission dispatch, maupun economic emission dispatch pada satu level beban atau dapat disebut dengan *multiobjective economic emission load* dispatch (MEELD) pada pembangkit yang bervariasi dengan penambahan tenaga angin dan sel surya dalam sistem *Micro Grid*. Untuk mendapatkan hasil antara ekonomi dan emisi yang optimal digunakan *quadratic programming* sebagai metode perhitungan. Data yang digunakan yaitu meliputi data untuk *renewable energy* dan data pembangkit thermal yang meliputi *cost function*, *emission function*, besar beban, price penalty factor, batasan atas dan batas bawah tiap pembangkit. Objek yang dioptimasi adalah pembangkit dengan variasi dan karakteristik yang bermacam-macam dan penambahan turbin angin dan sel surya sebagai pembangkit terbarukan. Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Studi literatur
Penulis mempelajari mengenai *multiobjective economic emission dispatch* dari jurnal IEEE, proceeding, textbook dan beberapa buku tugas akhir.
2. Pengumpulan data
Setelah dilakukan studi literatur, maka penulis melakukan pengumpulan data tentang parameter-parameter seperti data untuk *renewable energy* dan data pembangkit thermal meliputi *cost function*, *emission function*, batas atas dan batas bawah tiap saluran, data beban, matrik losses saluran dll.
3. Pembuatan program dalam *M-File* serta penerapan quadratic programming pada *multi-objective economic emission load dispatch*.
Program yang dibuat akan divalidasi terlebih dahulu pada literatur acuan untuk mendapatkan hasil yang sama dan kemudian dibandingkan dengan metode lain.
4. Simulasi dan Analisa data

Melakukan simulasi *multi-objective economic emission load dispatch* dengan menggunakan *Quadratic programming* dengan penambahan turbin angin dan sel surya pada sistem *Micro Grid* dan melakukan analisis terhadap hasilnya pada berbagai nilai *weighting factor*.

5. Penulisan buku tugas akhir

Penulisan hasil penelitian ini merupakan kesimpulan dari alur metodologi yang telah dilakukan. Kesimpulan dari penelitian ini merupakan jawaban dari permasalahan yang dianalisis. Selain itu juga terdapat saran yang nantinya digunakan sebagai masukan dengan apa yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut :

Bab 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisikan penjelasan tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, metode penulisan, sistematika penulisan, dan relevansi tugas akhir ini.

Bab 2 *MULTI-OBJECTIVE ECONOMIC EMISSION LOAD DISPATCH*

Bab ini berisi teori penunjang yang membahas tentang *economic dispatch*, *multi-objective economic emission dispatch* dan *quadratic programming* serta sistem kelistrikan *Micro Grid*

Bab 3 PENERAPAN *QUADRATIC PROGRAMMING PADA MULTI-OBJECTIVE ECONOMIC EMISSION LOAD DISPATCH*

Bab ini membahas mengenai penerapan *quadratic programming* pada permasalahan *multi-objective economic emission dispatch* pada pembangkit yang bervariasi dengan penambahan tenaga angin dan sel surya pada sistem kelistrikan *Micro Grid* Dan penulisannya di MATLAB.

Bab 4 SIMULASI DAN ANALISIS

Bab ini berisikan hasil simulasi dan analisis dari hasil simulasi yang dilakukan. Penerapan *quadratic programming* dalam perhitungan *emission dispatch*, *economic dispatch* dan *multiobjective economic emission load dispatch* pada berbagai nilai *weighting factor* dalam sistem *Micro Grid*.

Bab 5 PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dari analisis yang dilakukan dan berisi tentang saran untuk pengembangan selanjutnya.

1.7 Relevansi

Penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat meningkatkan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang optimasi khususnya *economic emission dispatch*.
2. Dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan daya listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit-pembangkit tersebar dengan biaya dan emisi yang minimal.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang serupa untuk tugas akhir.
4. Dapat menjadi referensi penelitian untuk mengembangkan metode optimasi yang lebih handal.

BAB 2

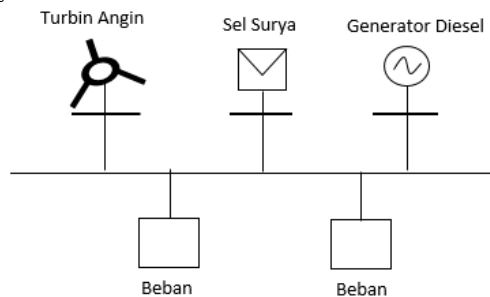
MULTI-OBJECTIVE ECONOMIC EMISSION LOAD DISPATCH

2.1 Sistem Kelistrikan *Micro Grid*

Sistem *Micro Grid* merupakan sistem kecil dengan berbagai pembangkit yang tersebar dalam skala kecil ,mulai dari pembangkit thermal seperti diesel, *fuel cell* dan *micro turbine* sampai pembangkit berbasis energy terbarukan seperti turbin angin dan sel surya. Pembangkit pembangkit tersebut tersebar dekat dengan beban sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem dan juga bisa meminimalkan *losses* sistem.Terdapat dua mode operasi manajemen energi yaitu *Islanded* dan *Grid-connected*. Tipe *Islanded* yang tidak terhubung dengan Grid PLN dan Tipe *Grid-connected* yang terhubung dengan PLN.

2.1.1 Islanded

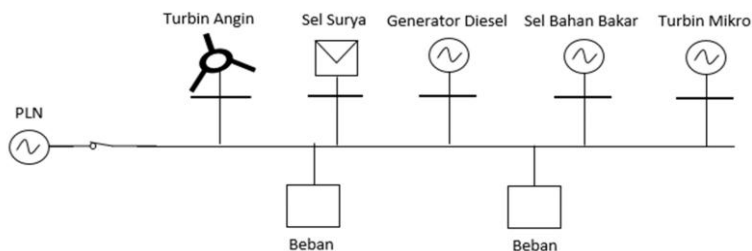
Mode operasi yang pertama adalah mode operasi *islanded*. Mode ini adalah mode operasi dimana sistem Tidak terhubung dengan jaringan PLN dan beroperasi sendiri secara mandiri dalam memenuhi kebutuhannya, jadi pembangkit dalam sistem tersebut harus mampu menopang seluruh beban yang ada dalam sistem.sehingga generator harus kontinyu dan stabil dalam mensuplai beban. Mode operasi ini menekankan pada stabilitas sistem terutama frekuensi dan tegangan namun apabila beban terlampau besar maka sistem tidak akan mampu menopangnya.



Gambar 2.1 Tipe *micro grid* *islanded*

2.1.2 *Grid-connected*

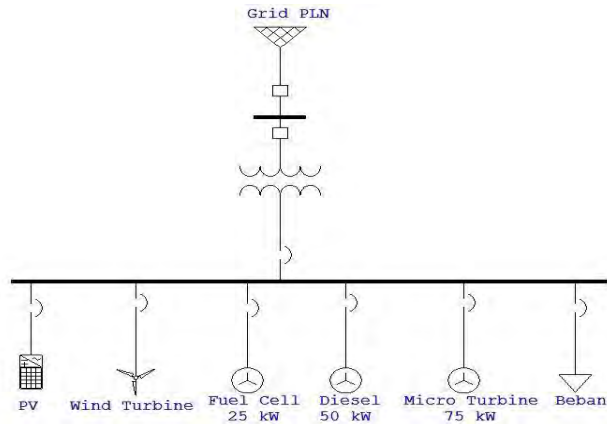
Mode operasi selanjutnya adalah mode operasi *Grid-connected* yang merupakan mode operasi dimana sistem terhubung ke main grid (PLN). Dalam pemenuhan kebutuhan beban maka daya bisa berasal dari pembangkit pembangkit tersebar maupun daya dari PLN. Mode operasi ini menekankan pada pemenuhan kebutuhan beban setiap saat dan optimisasi profil tegangan sistem.



Gambar 2.2 Tipe *grid-connected* dari *micro grid*

Sistem yang dipakai dalam tugas akhir kali ini adalah sistem dengan tipe operasi *grid-connected*. Dengan tipe operasi ini, PLN diintegrasikan kedalam sistem *Micro Grid* sehingga pemenuhan beban dapat tersuplai secara optimal berdasarkan variasi beban yang dibangkitkan oleh pembangkit tersebar. Beberapa sumber energi listrik yang dimodelkan dalam sistem *Micro Grid* ini yaitu turbin angin, turbin mikro, generator diesel, sel surya, dan sel bahan bakar. Beberapa dari sumber energi listrik ini merupakan energi terbarukan seperti turbin angin dan sel surya.

Data yang digunakan dalam pada tugas akhir ini adalah sistem distribusi *microgrid* tipe radial yang berasal dari paper. Sistem yang ditampilkan pada gambar 2.3 disuplai oleh diesel generator 50 kw, sebuah *fuel cell* 25 kw dan sebuah mikro turbin 75 kw.



Gambar 2.3 Sistem Kelistrikan *Micro Grid*

2.1.3 Sel Surya

Sistem Pembangkit listrik jenis sel surya merupakan sistem yang mengubah cahaya matahari secara langsung dengan memanfaatkan electron yang ada pada cahaya matahari untuk menghasilkan energi listrik. photon yang ada pada cahaya matahari mengeksitasi electron terluar agar lepas, dan ketika terhubung satu sama lain akan menghasilkan aliran electron dan timbul arus listrik. Prinsip dasar sel surya merupakan kebalikan dari LED (Light Emmiting Diode) yang mengubah energi listrik menjadi cahaya atau boleh dikatakan identik dengan sebuah dioda cahaya (photodioda) sambung p-n (p-n junction) dengan cahaya energi (band gap) E. Foton yang jatuh pada sel surya menghasilkan elektron yang bermuatan positif dan hole yang bermuatan negatif. Elektron dan hole mengalir membentuk arus listrik. Ketika energi foton yang datang lebih besar dari celah energi ini maka foton akan diserap oleh semikonduktor untuk membentuk pasangan electron-hole sebagai pembawa muatan (carrier). Selanjutnya elektron dan hole bergerak berturut-turut ke arah lapisan n dan p sehingga timbul beda potensial dan photocurrent (arus yang dihasilkan cahaya) ketika kedua muatan melintasi daerah celah p-n. Karakteristik sel surya yang ada sudah di tes dalam suatu kondisi standar (1000 W/m^2 , suhu sel 25°C) untuk menghasilkan daya yang sesuai rating sel surya tersebut, apabila kita ingin menggunakan sel surya tersebut maka kita harus memperhitungkan

pengaruh radiasi dan suhu pada karakteristik sel surya dimodelkan. Pengaruh intensitas matahari dimodelkan dengan mempertimbangkan output daya dari modul sel surya yang akan sebanding dengan radiasinya. Modul sel surya diuji dalam Standard Test Condition (STC). Daya keluaran dari modul sel surya dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_{pv} = M \left\{ P_{STC} \frac{G_{ING}}{G_{STC}} (1 + k(T_c - T_r)) \right\} \quad (2.1)$$

dimana :

P_{pv} adalah daya keluaran dari modul saat radiasi G_{ING} dalam W

P_{STC} adalah daya maksimum modul saat STC dalam W

G_{ING} adalah radiasi aktual dalam W/m²

G_{STC} adalah radiasi saat STC (1000 W/m²)

M adalah jumlah modul sel surya

k adalah koefisien suhu untuk daya modul dalam %/ derajat celcius

T_c adalah suhu sel dalam derajat celcius

T_r adalah referensi suhu (25)

Dalam tugas akhir ini, digunakan modul sel surya SOLAREX

MSX-83. Karakteristik dari modul ini yaitu :

Daya maksimum saat STC (P_{STC}) = 83

Tegangan saat daya maksimum = 17.1 V

Arus saat daya maksimum = 4.85 A

Arus *short-circuit* saat STC = 5.27 A

Tegangan *open-circuit* saat STC = 21.2 V

Koefisien suhu untuk daya (k) = -0.5

2.1.4 Turbin Angin

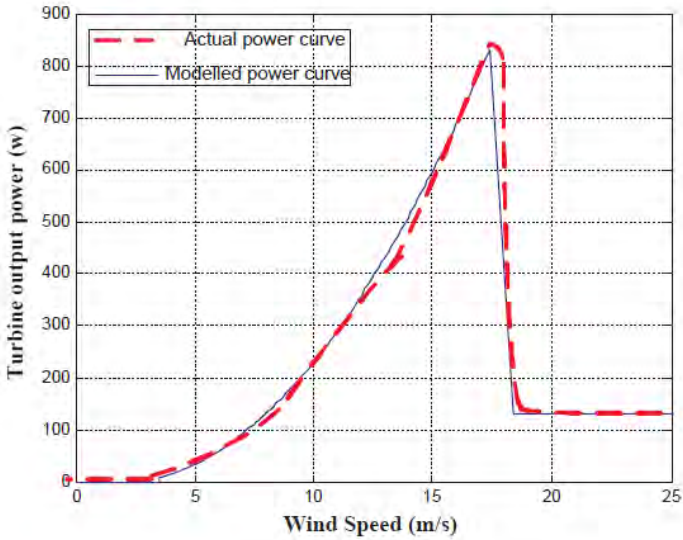
Turbin angin adalah salah satu pembangkit listrik terbaharukan dan ramah lingkungan yang bekerja dengan mengubah angin menjadi

energi listrik. Dalam desain turbin angin, terdapat dua hal penting yang harus diperhitungkan yaitu ketersediaan angin dan kurva daya dari turbin angin itu sendiri. Keluaran daya dari turbin angin merupakan fungsi dari kecepatan angin. Untuk memodelkan performansi dari turbin angin, kurva daya harus diperoleh.

Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan.

Ada dua jenis turbin angin yang umum digunakan saat ini, yaitu berdasarkan arah poros berputar (sumbu): turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Ukuran turbin angin bervariasi. Turbin kecil yang digunakan untuk memasok energi rumah tunggal atau bisnis mungkin memiliki kapasitas kurang dari 100 kilowatt. Kebanyakan turbin angin yang digunakan saat ini adalah tipe sumbu horizontal. Turbin angin sumbu horizontal memiliki bilah baling-baling seperti di pesawat. Turbin angin sumbu vertikal memiliki bilah yang memanjang dari atas ke bawah. Turbin angin jenis ini yang paling umum adalah turbin angin Darrieus, dinamai sesuai dengan nama insinyur Perancis Georges Darrieus yang desainnya dipatenkan pada tahun 1931. Jenis turbin angin vertikal biasanya berdiri setinggi 100 meter dengan lebar 50 kaki. Turbin angin sumbu vertikal menempati porsi kecil untuk digunakan pada saat ini.

Dalam tugas akhir ini, digunakan turbin angin AIR 403. Kurva daya dari turbin angin ini adalah sebagai berikut [10] :



Gambar 2.4 Kurva daya actual dan modelnya dari AIR403

Dari model kurva daya tersebut dapat diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$P_{WT} = 0, \quad V_{ac} < V_{ci} \quad (2.2)$$

$$P_{WT} = aV_{ac}^2 + bV_{ac} + c \quad V_{ci} \leq V_{ct} < V_r \quad (2.3)$$

$$P_{WT,r} = 130 \quad V_r \leq V_{ac} < V_{co} \quad (2.4)$$

$$P_{WT} = J \times P_{WT} \quad (2.5)$$

Dimana :

P_{WT} adalah daya keluaran dari turbin angin dalam W

$P_{WT,r}$ adalah rating daya dalam W

J adalah jumlah turbin angin terpasang

V_{ci} adalah kecepatan *cut-in* dalam m/s

V_{co} adalah kecepatan *cut-out* dalam m/s

V_r adalah *rating* kecepatan angin dalam m/s

V_{ac} adalah kecepatan angin *actual* dalam m/s

Berdasarkan kurva turbin angin diatas maka kita dapat memperoleh data terkait performansi dari turbin angin, persamaan matematis yang bisa kita peroleh berdasarkan kurva diatas adalah parameter sebagai berikut :

$$a = 3.4$$

$$b = -12$$

$$c = 9.2$$

$$P_{WT,r} = 130$$

$$V_{ci} = 3.5$$

$$V_{co} = 18$$

$$V_r = 17.5$$

2.1.5 Sel Bahan Bakar (*Fuel Cell*)

Sel bahan bakar (Fuel Cell) adalah salah satu tipe pembangkit thermal yang membangkitkan daya melalui reaksi elektrokimia antara hidrogen dan oksigen. sel bahan bakar merupakan sebuah alat elektrokimia yang mirip dengan baterai, tetapi berbeda karena dia dirancang untuk dapat diisi terus reaktannya yang terkonsumsi yaitu dia memproduksi listrik dari penyediaan bahan bakar hidrogen dan oksigen dari luar. Hal ini berbeda dengan energy internal dari baterai. Sebagai tambahan, elektrode dalam baterai bereaksi dan berganti pada saat baterai diisi atau dibuang energinya, sedangkan elektrode sel bahan bakar adalah katalitik dan relatif stabil.

Fuel cell bekerja berdasar prinsip pembakaran listrik-kimiawi, cell ini akan memproduksi energi listrik arus searah. Fuel cell ini terdiri dari elektrolit yang memisahkan katoda dari anoda, elektrolit hanya dapat

menghantar ion saja, sedangkan elektron tidak dapat melewati elektrolit, jadi elektrolit ini bukan penghantar listrik dan juga menghindarkan terjadinya reaksi kimia. Pada anoda akan dialirkan secara berkesinambungan bahan bakar dan pada katode dialirkan oksigen, pengaliran ini dilakukan secara terpisah. Karena pengaruh katalisator pada elektroda, maka molekul-molekul dari gas yang dialirkan akan berubah menjadi ion. Reaksi pada anoda menghasilkan elektron yang bebas, sedang pada katoda elektron yang bebas akan diikat.

Elektron-elektron bebas yang terjadi harus dialirkan keluar melalui penghantar menuju ke anoda, agar proses listrik-kimiawi dapat berlangsung. Panas yang timbul dari hasil reaksi kimia harus terus menerus dibuang, agar energy listrik dapat terbentuk secara kontinyu. Reaktan yang biasanya digunakan dalam sebuah sel bahan bakar adalah hidrogen di sisi anode dan oksigen di sisi katode (sebuah sel hidrogen). Biasanya, aliran reaktan mengalir masuk dan produk dari reaktan mengalir keluar. Sehingga operasi jangka panjang dapat terus menerus dilakukan selama aliran tersebut dapat dijaga kelangsungannya.

Konversi ini sangat efisien dan hanya meninggalkan air dan panas sebagai pembuangannya. Hal ini menjadikan pembangkit sel bahan bakar diminati dalam ranah teknologi. Sel bahan bakar ini mempunyai emisi yang rendah dan efisiensi yang tinggi jika dibandingkan generator diesel, tetapi cenderung terlalu mahal untuk beberapa aplikasi.

Biaya operasi dari sel bahan bakar dapat dinyatakan sebagai fungsi daya keluaran dan dapat dimodelkan dengan polinomial kuadrat. Biaya operasi untuk sel bahan bakar adalah sebagai berikut :

$$FC(P_{FC}) = a + bP_{FC} + cP_{FC}^2 \quad (2.6)$$

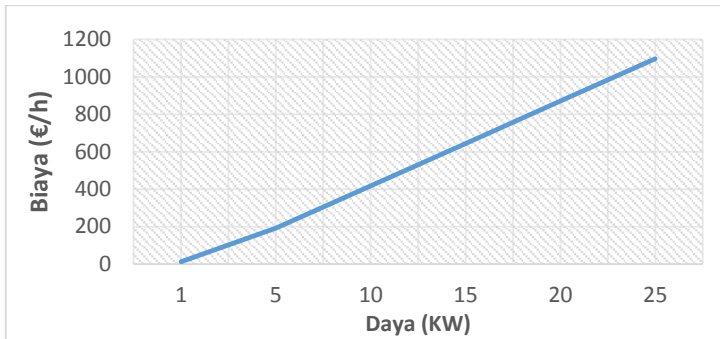
Dimana :

$FC(P_{FC})$ adalah total biaya operasi *fuel cell* dalam €/h)

a, b dan c adalah koefisien generator

P_{FC} adalah keluaran daya dari *fuel cell* (kW)

Dalam tugas akhir ini digunakan sebuah sel bahan bakar 25 KW yang mempunyai fungsi biaya bahan bakar yang diambil dari paper . Adapun kurva fungsi biaya bahan bakarnya adalah sebagai berikut [12]:



Gambar 2.5 Fungsi biaya bahan bakar *fuel cell*

Dari kurva diatas didapatkan parameter sebagai berikut :

$$a = 12$$

$$b = 45$$

$$c = 0.01$$

2.1.6 Turbin Mikro (*Micro Turbine*)

Turbin mikro adalah salah satu pembangkit thermal yang berupa generator turbin gas kecepatan tinggi bertenaga mulai 25-500 *kW*. turbin gas mikro sangat cocok digunakan sebagai teknologi penunjang desentralisasi pembangkit tenaga listrik. Hal yang mendasari hal tersebut di antaranya, turbin gas mikro merupakan pembangkit listrik skala kecil yang cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik suatu kawasan perumahan, pusat pertokoan, pabrik, atau rumah sakit. Alat tersebut juga dapat diletakkan di luar bangunan dan dalam pengoperasiannya dirancang khusus untuk maintenance free, sehingga dapat menekan biaya perawatan.

Turbin mikro mempunyai sistem yang mengubah energi mekanik menjadi energy listrik.pada dasarnya turbin mikro adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari arus gas pembakaran. Dia memiliki kompresor naik ke-atas dipasangkan dengan turbin turun ke-bawah, dan sebuah bilik pembakaran di-tengahnya. Energi ditambahkan di arus gas di pembakar, di mana udara dicampur dengan bahan bakar dan dinyalakan. Pembakaran meningkatkan suhu, kecepatan dan volume dari aliran gas. Kemudian diarahkan melalui sebuah penyebar (nozzle) melalui baling-baling

turbin, memutar turbin dan mentenagai kompresor.

Frekuensinya berada pada rentang 1.4-4 *kHz*. Frekuensi tinggi ini diubah ke frekuensi yang diinginkan 50/60 *Hz* menggunakan konverter. Biaya operasi dari turbin mikro dapat dinyatakan sebagai fungsi daya keluaran dan dapat dimodelkan dengan polinomial kuadrat. Adapun fungsi biaya operasi untuk turbin mikro secara umum adalah sebagai berikut :

$$FC(P_{MT}) = a + bP_{MT} + cP_{MT}^2 \quad (2.7)$$

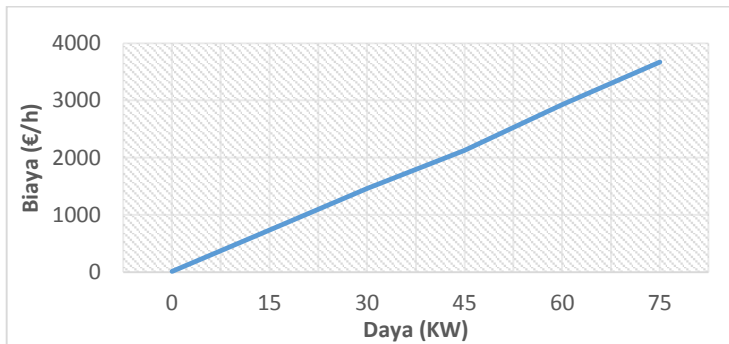
Dimana :

$FC(P_{MT})$ adalah total biaya operasi turbin mikro dalam €/h

a, b dan c adalah koefisien generator

P_{MT} adalah keluaran daya dari turbin mikro (*kW*)

Dalam tugas akhir ini digunakan sebuah turbin mikro 75 KW yang mempunyai fungsi biaya bahan bakar yang diambil dari paper . Adapun kurva fungsi biaya bahan bakarnya adalah sebagai berikut [12]:



Gambar 2.6 Fungsi biaya bahan bakar turbin mikro

Dari kurva diatas didapatkan parameter sebagai berikut :

$$a = 12$$

$$b = 48$$

$$c = 0.01$$

2.1.7 Generator Diesel

Generator Diesel sudah dikembangkan lebih dari 100 tahun yang lalu. Sebagai definisi generator diesel adalah pesawat yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik diperoleh dari mesin penggerak seperti mesin diesel, turbin dan lain-lain. Secara umum fungsi Genset / Generator Diesel adalah untuk mensuplai arus pada sistem kelistrikan. Proses pembangkitan listrik pada generator menggunakan prinsip induksi yaitu apabila terjadi perpotongan medan magnet dengan penghantar, maka pada penghantar akan timbul gaya gerak listrik.

Generator Diesel AC disebut juga Alternator. Alternator dapat mensuplai arus bukan hanya pada kecepatan tinggi tetapi juga pada putaran idler. Kerja sebuah alternator persis seperti generator DC, yang membedakan keduanya adalah konstruksi. Pada alternator medan magnet berputar, penghantar diam, sedangkan pada generator medan diam, penghantar berputar. Pada alternator, kumparan penghantar dipasang pada rangka yang disebut stator. Medan magnet disebut rotor, bergerak ditengah stator. Teknologi ini merupakan yang pertama digunakan dalam sistem pembangkit tersebar. Generator Diesel ini banyak digunakan di berbagai sektor ekonomi dengan skala yang berbeda mulai dari 1 *kW* hingga berpuh-puluh *MW*. Pembangkit ini banyak digunakan karena memiliki efisiensi dan keandalan yang tinggi.

Generator Diesel adalah jenis yang paling umum digunakan dalam teknologi *Micro Grid* saat ini. Biaya operasi dari sistem dapat dinyatakan sebagai fungsi daya keluaran dan dapat dimodelkan dengan polinomial kuadrat.

Biaya operasi untuk generator diesel dimodelkan dalam fungsi kuadrat sebagai berikut :

$$FC(P_{DG}) = a + bP_{DG} + cP_{DG}^2 \quad (2.8)$$

Dimana :

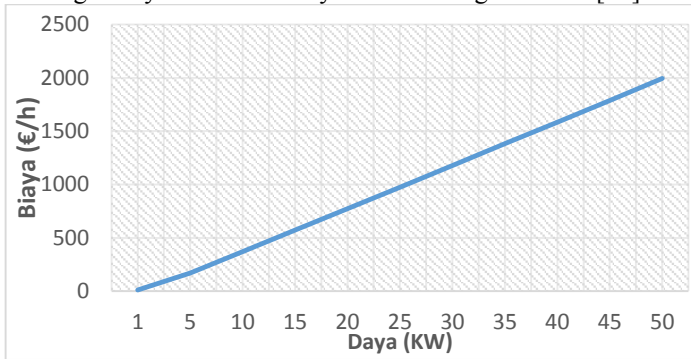
$FC(P_{DG})$ adalah total biaya operasi generator diesel dalam €/h

a, b dan c adalah koefisien generator

P_{DG} adalah keluaran daya dari generator diesel (*kW*)

Dalam tugas akhir ini digunakan sebuah diesel generator 50 KW yang

mempunyai fungsi biaya bahan bakar yang diambil dari paper . Adapun kurva fungsi biaya bahan bakarnya adalah sebagai berikut [12]:



Gambar 2.7 Fungsi biaya bahan bakar diesel generator

Dari kurva diatas didapatkan parameter sebagai berikut :

$$a = 10$$

$$b = 40$$

$$c = 0.01$$

2.1.8 PLN

Sistem *Micro Grid* disambungkan dengan grid PLN dan menjadi pensuplai daya maupun beban bagi PLN , tergantung dari besar pembangkitan dan besar beban. PLN menyeimbangkan perbedaan antara kebutuhan beban dan keluaran generator dari sumber mikro. Maka, ketika sumber mikro kekurangan , sistem *micro grid* akan membeli daya dari PLN dalam rangka memenuhi kebutuhan beban. Di lain sisi, ada pemasukan dari penjualan energi listrik ketika sumber mikro menghasilkan energi listrik lebih besar dari kebutuhan beban. Ada kemungkinan juga apabila tidak ada energi listrik yang terjual sama sekali.

Dalam tugas akhir ini , total daya yang dijual ke PLN dimodelkan sebagai berikut :

$$U_{PLN} = TotR - Load \quad (2.9)$$

$$TotR = P_{PV} + P_W \quad (2.10)$$

U_{PLN} adalah daya yang dijual ke PLN dalam kW

$TotR$ adalah total daya *Renewable Generator* dalam kW

$Load$ adalah total beban dalam kW

P_{PV} adalah total daya sel surya dalam kW

P_W adalah total daya turbin angin dalam kW

Sedangkan total daya yang dibeli dari PLN adalah sebagai berikut :

$$V_{PLN} = Load - TotR - TotG \quad (2.11)$$

$$TotG = P_{FC}^{MAX} + P_{MT}^{MAX} + P_{DG}^{MAX} \quad (2.12)$$

Dimana :

V_{PLN} adalah daya yang dibeli dari PLN dalam kW

$TotG$ adalah total daya maksimum generator berbahan bakar dalam kW

P_{FC}^{MAX} adalah daya maksimum dari sel bahan bakar dalam kW

P_{MT}^{MAX} adalah daya maksimum dari turbin mikro dalam kW

P_{DG}^{MAX} adalah daya maksimum dari diesel generator dalam kW

Parameter yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu

$$P_{FC}^{MAX} = 25 \text{ kW}$$

$$P_{MT}^{MAX} = 75 \text{ kW}$$

$$P_{DG}^{MAX} = 50 \text{ kW}$$

2.2 Emission dan Economic Dispatch

Operasi optimum pada sistem tenaga listrik ;tidak hanya mencakup tentang bagaimana menentukan pembebanan tiap unit agar mendapatkan hasil termurah , tetapi juga bagaimana pembebanan tersebut juga dapat meminimalisir emisi yang dihasilkan oleh pembangkit thermal. Hal tersebut seringkali dikenal dengan *Multi-objective Economic Emission Load Dispatch*.

2.2.1 Emission

Pembangkit listrik tenaga bahan bakar fosil adalah pembangkit listrik yang membakar bahan bakar fosil seperti batubara, gas alam, atau minyak bumi untuk memproduksi listrik. Pembangkit listrik tenaga bahan bakar fosil selalu memiliki mesin rotasi yang mengubah panas dari pembakaran menjadi energi mekanik yang lalu mengoperasikan generator listrik. Penggerak utamanya mungkin adalah uap, gas bertekanan tinggi, atau mesin siklus dari mesin pembakaran dalam.

Hasil sampingan dari mesin pembakaran dalam harus dipertimbangkan dalam desain mesin dan operasinya. Panas yang terbuang karena efisiensi yang terbatas dari siklus energi, ketika tidak di *recovery* sebagai pemanas ruangan, akan dibuang ke atmosfer. Gas sisa hasil pembakaran dibuang ke atmosfer; mengandung sulfur dioksida, berupa Sulfur Dioksida (SO_2), Carbon Dioksida (CO_2), dan Nitrogen Oksida (NO_x) dan abu ringan (khusus batu bara) dan mungkin merkuri. Abu padat dari pembakaran batu bara juga harus dibuang, meski saat ini abu padat sisa pembakaran batu bara dapat didaur ulang sebagai bahan bangunan.

Pembangkit listrik tenaga bahan bakar fosil adalah penyumbang utama gas rumah kaca dan berkontribusi besar terhadap pemanasan global. Batu bara menghasilkan gas rumah kaca sedikitnya tiga kali lebih banyak dari gas alam. Pada pembangkit listrik tenaga bahan bakar fosil, energi kimia yang tersimpan dalam bahan bakar fosil (batu bara, gas alam, minyak bumi) dan oksigen dari udara dikonversikan menjadi energi termal, energi mekanis, lalu energi listrik untuk penggunaan berkelanjutan dan distribusi secara luas. Pembakaran batu bara dapat memicu hujan asam dan polusi udara.

Pembakaran batubara telah dihubungkan dengan pemanasan global karena komposisi kimia dari batu bara dan sulitnya memindahkan pengotor dari bahan bakar padat ini untuk pembakaran. Hujan asam disebabkan oleh emisi nitrogen oksida dan sulfur dioksida ke udara. Emisi tersebut bereaksi dengan uap air di atmosfer, menciptakan bahan asam (asam sulfur, asam nitrit) yang jatuh sebagai hujan.

Pembangkit listrik tenaga bahan bakar fosil bertanggung jawab penuh terhadap sebagian besar dari emisi karbon dioksida di seluruh dunia, dan 41% dari seluruh emisi karbon dioksida yang dihasilkan oleh manusia. Karbon dioksida diproduksi secara alami oleh alam melalui letusan gunung berapi, pemecahan biologis, atau respirasi organisme hidup. Karbon dioksida diserap oleh tanaman melalui fotosintesis atau

perairan, misanya lautan. Peningkatan kadar karbon dioksida di atmosfer memicu perubahan iklim termasuk pemanasan global.

Masalah lainnya dari pembakaran bahan bakar fosil adalah emisi partikulat yang menjadi ancaman serius bagi kesehatan. Pembangkit listrik bahan bakar fosil memindahkan partikulat dari gas sisa hasil pembakaran dengan baghouse filter atau electrostatic precipitator. Materi partikulat terdiri yang utama adalah abu ringan, namun ada juga sulfat dan nitrat. Abu ringan mengandung bahan yang tidak dapat terbakar yang tersisa setelah pembakaran.

Ukuran partikulat bervariasi dari yang berukuran lebih besar dari 2,5 mikrometer hingga yang berukuran lebih kecil dari 0.1 mikrometer. Semakin kecil ukuran, semakin sulit dihilangkan. Terdapat beberapa metode untuk menghilangkan emisi partikulat agar tidak mencemari atmosfer:

- Baghouse filter, yang mengumpulkan partikel abu
- Electrostatic precipitator, yang menggunakan tegangan tinggi untuk menghasilkan medan listrik untuk menangkap partikel abu
- cyclone collector, menggunakan prinsip sentrifugasi untuk menangkap partikel

Dalam proses optimasi, emisi ini dapat dimodelkan secara matematis. Total ton/h dari emisi tersebut yaitu [11] :

$$EC = \sum_{i=1}^n d_i + e_i P_i + f_i P_i^2 \quad (2.13)$$

Dimana :

EC adalah total emisi generator berbahan bakar dalam ton/h

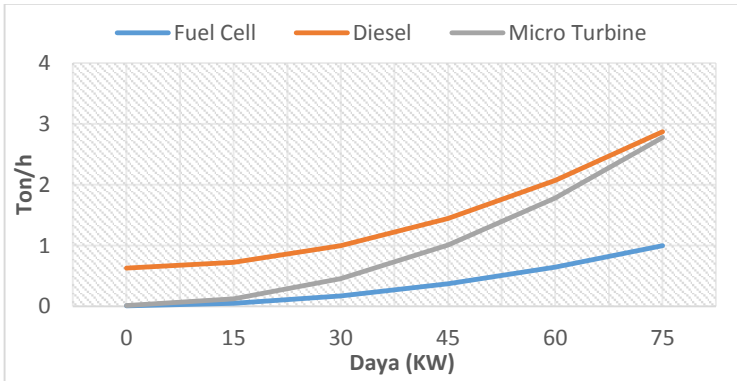
P_i adalah daya yang dibangkitkan tiap tiap generator thermal dalam kW

d_i, e_i dan f_i adalah koefisien emisi generator thermal

Parameter yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai pada tabel 2.1 dan gambar 2.8 [12] :

Tabel 2.1 Data *Emission Cost* Pembangkit thermal

Emission Coeffisients	Fuel cell (ton/h)	Diesel Generator (ton/h)	Microturbine (ton/h)
d_i	0.01045	0.62986	0.01745
e_i	0.00041	0.00063	0.0007
f_i	0.00017	0.00039	0.00049



Gambar 2.8 Fungsi emisi pembangkit thermal

2.2.2 Economic Dispatch

Pembebanan ekonomis (economic dispatch) adalah pembagian pembebanan optimal pada unit-unit pembangkit yang ada di dalam sistem secara optimal ekonomis, pada suatu nilai permintaan beban sistem. Melalui penerapannya, maka akan didapatkan biaya pembangkitan yang minimum terhadap produksi daya listrik yang dibangkitkan unit-unit pembangkit pada suatu sistem kelistrikan yang memenuhi batasan/kendala persamaan (equality constraint) dan batasan/kendala ketidaksamaan (inequality constraint). Batasan persamaan mencerminkan suatu keseimbangan daya nyata dan batasan ketidaksamaan mencerminkan batas minimum dan maksimum pembangkitan yang harus dipenuhi sehingga diperoleh total biaya bahan bakar yang minimum. Tiap pembangkit mempunyai karakteristik yang berbeda-beda sehingga berpengaruh pada fungsi kebutuhan dan biaya bahan bakarnya. Perbedaan karakteristik itu dipengaruhi oleh jenis bahan bakar dan efisiensi dari pembangkit.

Ada beberapa metode dalam penyelesaian masalah *economic dispatch* antara lain factor pengali *lagrange*, iterasi *lambda*, *artificial bee colony*, *PSO* dll. Pengoptimalan permasalahan ED pada tugas akhir ini menggunakan software MATLAB untuk melakukan perhitungan. Parameter parameter tersebut sangat penting untuk perencanaan jangka panjang dari sistem, penentuan pembebanan ekonomis yang berkaitan dengan porsi biaya bahan bakar dan manajemen operasi pada pembangkit.

Dalam sistem pembangkit listrik ada tiga komponen biaya utama yaitu biaya pembangunan fasilitas, biaya pemeliharaan dan biaya operasi. Biaya operasi adalah biaya yang paling dominan dalam suatu sistem kelistrikan. Adalah biaya bahan bakar dan setiap pembangkit memiliki karakteristik fungsi yang berbeda beda satu sama lain bergantung jengan jenis pembangkit dan jenis bahan bakar yang digunakan serta efisiensi pembangkit.

Pengoptimalan biaya operasi dengan mempertimbangkan fungsi biaya sangat mempengaruhi biaya pembangkitan energy listrik. Oleh karena itu, walaupun pada kondisi operasi normal kapasitas total daripada pembangkit lebih besar daripada beban dan rugi transmisi, penjadwalan pembangkit menjadi prioritas untuk menekan biaya produksi.

Tujuan utama dari *economic dispatch* yaitu untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar dari pembangkit pada keseluruhan sistem dengan menentukan porsi pembebanan dari tiap tiap pembangkit. Penentuan pembebanan ini sangat penting karena bahan bakar adalah factor yang paling banyak berpengaruh terhadap banyak sedikitnya biaya pembangkitan dalam suatu sistem tenaga listrik. Dalam lingkup *micro Grid* , beberapa pembangkit thermal yang sering digunakan yaitu turbin mikro, generator diesel, dan sel bahan bakar. Pembangkit pembangkit ini memerlukan bahan bakar dan memerlukan biaya yang cukup besar untuk operasinya. Penentuan pembebanan daya tiap pembangkit harus memenuhi batas batas tertentu

Fungsi total biaya dari generator unit- i dimodelkan dengan persamaan :

$$FC = \sum_{i=1}^n a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (2.14)$$

Dimana :

FC adalah total biaya generator berbahan bakar dalam €/h

P_i adalah daya yang dibangkitkan tiap tiap generator thermal dalam kW

a_i, b_i dan c_i koefisien harga generator thermal

2.2.3 Constraints

Dari persamaan 2.14 dapat diketahui bahwa hubungan daya yang dibangkitkan oleh generator tidak linier terhadap biaya pembangkitan. Kombinasi daya output yang dibangkitkan oleh tiap generator pada sistem harus bisa memenuhi kebutuhan daya dari suatu sistem tenaga listrik (*equality constraint*) dan memenuhi batas minimum maksimum dari daya yang dibangkitkan oleh generator (*inequality constraint*). karena permasalahan cukup rumit maka permasalahan bisa dilakukan dengan metode iterasi . parameter parameter yang telah dijelaskan dapat di tulis dalam persamaan :

$$\text{Min} \sum FC = \text{Min} \sum_{i=1}^n a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (2.15)$$

$$P_{Gi} \text{ min} \leq P_G \leq P_{Gi} \text{ max} \quad (2.16)$$

Dengan P_{Gi} adalah besar daya yang dibangkitkan oleh tiap generator ke- i atau biasa disebut *inequality constraint*.

$$\sum P_i = P_D + P_L \quad (2.17)$$

Keterangan :

P_D = beban daya yang ditanggung oleh *microgrid* (kW)

P_L = rugi daya yang terjadi pada sistem *microgrid* (kW)

Persamaan 2.17 dikenal dengan *equality constraint*. dalam permasalahan ED juga memperhitungkan kerugian transmisi/distribusi seperti pada persamaan 2.17 . Rugi transmisi terjadi karena aliran daya yang melewati jarring transmisi dan besar rugi transmisi yang terjadi bergantung pada besar daya yang mengalir dalam sistem transmisi tersebut. Dapat disimpulkan bahwa besar kombinasi daya output yang dibangkitkan generator mempengaruhi besar aliran daya yang mengalir pada jarring transmisi dan menentukan rugi transmisi yang terjadi.

Optimasi permasalahan ED menjadi rumit karena total kombinasi daya output yang harus dibangkitkan oleh generator merupakan daya permintaan konsumen dan rugi transmisi/ distribusi ,sedangkan rugi jaring diketahui setelah kombinasi daya output setiap generator ditentukan.

Dari seluruh pembangkit yang ada di dalam sistem, terdapat tiga

pembangkit yang membutuhkan bahan bakar untuk dapat beroperasi. Pembangkit tersebut adalah sel bahan bakar, turbin mikro, dan generator diesel. Sel bahan bakar dan juga mikro turbin menggunakan gas alam sebagai bahan bakar dan diesel generator menggunakan bahan bakar berupa solar. Besar biaya pada pembangkit thermal selain dipengaruhi oleh karakteristik dari mesin tetapi juga dipengaruhi oleh harga bahan bakar, oleh karena itu ketiga pembangkit tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda. Adapun fungsi dari total biaya operasi pembangkit tersebut adalah sebagai berikut :

$$FC(P) = FC(P_{FC}) + FC(P_{MT}) + FC(P_{DG}) \quad (2.18)$$

$FC(P)$ adalah total biaya operasi generator berbahan bakar dalam €/h

$FC(P_{FC})$ adalah total biaya operasi *fuel cell* dalam €/h

$FC(P_{MT})$ adalah total biaya operasi *micro turbine* dalam €/h

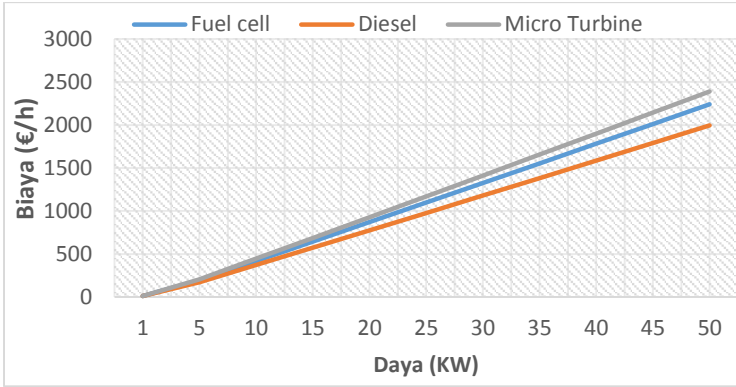
$FC(P_{DG})$ adalah total biaya operasi *diesel generator* dalam €/h

Parameter yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut(12) :

Tabel 2.2 Data Fuel Cost Pembangkit thermal

Fuel Cost Coeffisients	Fuel cell (€/h)	Diesel Generator (€/h)	Microturbine (€/h)
a_i	12	10	12
b_i	45	40	48
c_i	0.01	0.01	0.01

Berdasarkan data pada tabel diatas dapat di plot grafik untuk meihat seberapa perbandingan emisi yang dihasilkan oleh *fuel cell*, diesel generator dan turbin mikro. Adapun hasilnya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.9 Fungsi biaya bahan bakar pembangkit thermal

Equality Constraint

Equality Constraint merupakan batasan yang merepresentasikan keseimbangan daya dalam sistem. Karena terdapat dua pembangkit *renewable energy* yaitu turbin angin dan sel surya maka beban netto merupakan total beban sistem dikurangi daya yang dihasilkan pembangkit *renewable energy*. Beban netto ini yang nantinya akan dioptimasi oleh pembangkit-pembangkit berbahan bakar. Fungsi persamaannya dinyatakan sebagai berikut :

$$P_{net} = Load - P_{pv} - P_w \quad (2.19)$$

Dimana :

P_{net} adalah beban netto dari sistem *Micro Grid* dalam kW

Inequality Constraint

Inequality Constraint merupakan batasan yang merepresentasikan kapasitas daya dari pembangkit. Terdapat tiga pembangkit berbahan bakar dalam sistem *Micro Grid* ini yaitu sel bahan bakar, generator diesel, dan turbin mikro. Pembangkit tersebut mempunyai kapasitas daya yang berbeda. Fungsi pertidaksamaannya adalah sebagai berikut :

$$P_{FC}^{MIN} \leq P_{FC} \leq P_{FC}^{MAX} \quad (2.20)$$

$$P_{MT}^{MIN} \leq P_{MT} \leq P_{MT}^{MAX} \quad (2.21)$$

$$P_{DG}^{MIN} \leq P_{DG} \leq P_{DG}^{MAX} \quad (2.22)$$

Dimana :

P_{FC}^{MIN} adalah daya operasi minimum dari pembangkit sel bahan bakar

P_{FC}^{MAX} adalah daya operasi maksimum dari pembangkit sel bahan bakar

P_{MT}^{MIN} adalah daya operasi minimum dari pembangkit turbin mikro

P_{MT}^{MAX} adalah daya operasi maksimum dari pembangkit turbin mikro

P_{DG}^{MIN} adalah daya operasi minimum dari pembangkit generator diesel

P_{DG}^{MAX} adalah daya operasi maksimum dari pembangkit generator diesel

$$P_{FC}^{MIN} = 5 \text{ kW}$$

$$P_{DG}^{MIN} = 5 \text{ kW}$$

$$P_{MT}^{MIN} = 5 \text{ kW}$$

$$P_{FC}^{MAX} = 25 \text{ kW}$$

$$P_{MT}^{MAX} = 75 \text{ kW}$$

$$P_{DG}^{MAX} = 50 \text{ kW}$$

2.2.4 Quadratic Programming

Model linear programming merupakan sebuah model yang sangat handal untuk digunakan dalam analisa berbagai permasalahan sains, industri, *engineering* dan bisnis. Namun, model ini memiliki keterbatasan karena tidak semua permasalahan berbentuk linear. Selain itu, model linear hanya memberikan hasil terbaik pada permasalahan dengan orde pertama. Model yang berada satu tingkat di atas model ini adalah quadratic programming. Quadratic programming menyelesaikan permasalahan non linear dan memodelkannya ke dalam sebuah fungsi objektif. *Quadratic Programming* (QP) adalah salah satu metode optimasi yang secara khusus digunakan untuk mengoptimalkan (meminimalkan atau memaksimalkan) masalah masalah fungsi kuadrat

dari beberapa variable yang bergantung pada batasan linier pada variable variable yang ditentukan.

Permasalahan optimasi linier yang dibatasi dengan fungsi tujuan kuadrat disebut pemrograman kuadratik (QP). Karena dapat diaplikasikan pada berbagai bidang [15], *quadratic programming* sering dipandang sebagai suatu disiplin ilmu tersendiri. Selain itu, *quadratic programming* juga membentuk dasar dari beberapa algoritma pemrograman umum non linier lain.

Dalam penyelesaian optimal, kita dapat memodifikasi masalah optimasi ke dalam bentuk *equality* ketika kita menemukan ada persamaan *inequality*, dengan menambahkan beberapa variable *suplus* atau variable *slack*. Modifikasi tersebut dilakukan untuk menyederhanakan proses pencarian solusi.

Quadratic programming dapat dimodelkan dalam sebuah persamaan berikut :

$$F(x) = a + c^T x + \frac{1}{2} x^T Q x \quad (2.23)$$

Sesuai dengan *constraint* sistem linier

$$Ax = b$$

Keterangan :

a = konstanta skalar

c = konstan matrik n - vektor

Q = matrik $n \times n$

A = matrik $m \times n$ dengan $m < n$

b = konstan m - vektor

x = n – vector yang tidak diketahui

-Equality Constraint

Equality Constraint dari permasalahan *multi-objective economic emission load dispatch* ditunjukkan oleh persamaan 2.24.

$$\sum P_i = P_D + P_L \quad (2.24)$$

dengan :

P_D = beban daya yang ditanggung (kW)

P_L = rugi daya yang terjadi pada sistem (kW)

-Inequality Constraint

Inequality Constraint dari permasalahan *multi-objective economic emission load dispatch* ditunjukkan oleh persamaan 2.25

$$P_{Gi} \min \leq P_G \leq P_{Gi} \max \quad (2.25)$$

dengan :

P_{Gi} adalah besar daya yang dibangkitkan oleh tiap generator ke-i

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 3

PENERAPAN *QUADRATIC PROGRAMMING* PADA *MULTI-OBJECTIVE ECONOMIC EMISSION LOAD DISPATCH*

3.1 Multiobjective Optimization

Multiobjective Optimization adalah pemecahan masalah dengan fungsi objektif lebih dari satu. Untuk mencapai hasil yang optimal dari beberapa fungsi objektif, sering kali terjadi konflik antara fungsi tujuan dan solusi yang tidak tunggal atau berupa himpunan penyelesaian, sehingga, irisan berbagai fungsi objektif adalah hasil yang optimal bagi sistem meskipun jika dilihat dari fungsi objektif satu per satu hasil itu bukan yang paling optimal. Pada pokok pembahasan *multi-objective economic emission load dispatch* tujuan dari penggunaannya adalah menentukan daya yang harus dihasilkan oleh masing-masing pembangkit dalam sistem agar didapat biaya bahan bakar seminimal mungkin. Disini tampak bahwa hanya terdapat satu tujuan yaitu meminimalkannya biaya bahan bakar.

Dalam *multi-objective economic emission load dispatch* tujuan dari penggunaannya ada lebih dari satu, yaitu menentukan daya yang harus dihasilkan oleh pembangkit-pembangkit dalam sistem sehingga didapatkan biaya bahan bakar seminimal mungkin dan emisi seminimal mungkin. Permasalahan optimasi *multi-objective* di rubah ke dalam satu buah persamaan *multi-objective* menggunakan *price penalty factor*.

Metode yang paling sederhana dan mudah dipahami dalam menyelesaikan *multiobjective optimization* adalah metode *Weighted Sum*. Metode ini mengkombinasikan beberapa tujuan ke dalam fungsi gabungan sehingga penyelesaiannya berupa satu fungsi tujuan saja. Metode ini seringkali digunakan oleh karena efisiensi dalam komputasi dan kesederhanaannya. Metode *Weighted Sum* menggabungkan beberapa fungsi tujuan dengan *weights*.

Adapun formula yang dipakai dalam *multi-objective economic emission load dispatch* yaitu meminimalkan fungsi tujuan berikut:

$$\text{Minimize } F(FC, EC) = \text{Minimize}(h_1 * FC + h_2 * EC) \quad (3.1)$$

Dengan :

$F(FC, EC)$ adalah fungsi biaya dan emisi yang sudah dijadikan satu menjadi satu fungsi

h_1 adalah koefisien pengali untuk biaya (bernilai 1)

h_2 adalah koefisien pengali untuk emisi (price penalty factor)

FC adalah fungsi biaya tiap pembangkit

EC adalah fungsi emisi tiap pembangkit

Price penalty factor adalah koefisien pengali yang digunakan untuk menyetarakan satuan antara biaya dan emisi. Adapun perhitungan price penalty factor adalah sebagai berikut [16] :

1. Hitung rasio antara rata rata *fuel cost* (FC) dan rata rata *emission cost* (EC) pada saat plant tersebut berada saat kapasitas pembangkitan maksimum. Cara perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$h_2 = \frac{FC_i(P_i^{\max})}{EC_i(P_i^{\max})}, i = 1, 2, n. \quad (3.2)$$

2. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari *price penalty factor* tiap plant , urutkan hasil secara *ascending*
3. Tambahkan kapastias maksimal tiap pembangkit mulai dari pembangkit dengan *price penalty factor* termurah sampai termahal sampai $\sum P_i \geq \sum P_D + P_L$ (3.3)

Dengan :

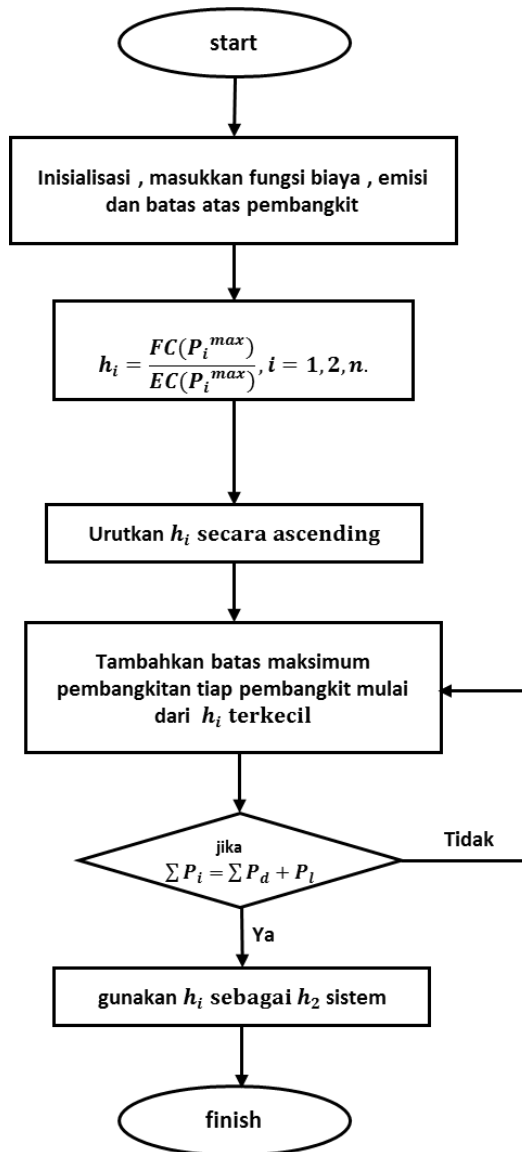
$\sum P_i$ adalah total pembangkitan tiap pembangkit.

$\sum P_D$ adalah total beban

P_L adalah rugi jaringan

4. Masukkan *price penalty factor* pada unit terakhir sebagai *price penalty factor* sistem (h_2)

Secara detail urutan algoritma diatas dapat ditunjukkan dengan diagram alir seperti berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram alir perhitungan *price penalty factor*

3.2 Quadratic Programming pada Matlab

3.2.1 Sintaksis Quadratic Programming (quadprog)

- $x = \text{quadprog}(H, f)$
Mengembalikan sebuah vector x yang meminimalkan persamaan $\frac{1}{2}x'Hx + f'x$. H harus *definite* positif untuk permasalahan dengan *finite* minimum.
- $x = \text{quadprog}(H, f, A, b)$
Meminimalkan persamaan $\frac{1}{2}x'Hx + f'x$ terhadap batasan $A*x \leq b$. A merupakan matrik, dan b adalah vector
- $x = \text{quadprog}(H, f, A, b, Aeq, beq)$
Menyelesaikan permasalahan dengan batasan tambahan $Aeq*x = beq$. Aeq merupakan matrik sedangkan beq merupakan vector. jika tidak terdapat *inequalities*, atur $A = []$ dan $b = []$
- $x = \text{quadprog}(H, f, A, b, Aeq, beq, lb, ub)$
Menyelesaikan permasalahan dengan tambahan batasan $lb \leq x \leq ub$. lb dan ub merupakan vector, dan batasan tersebut berlaku untuk setiap x . jika tidak terdapat *inequalities*, atur $A = []$ dan $b = []$
Jika batas batas masukan ditentukan tidak konsisten, output x adalah x_0 dan output $fval$ adalah $[]$. *quadprog* mengatur ulang komponen x_0 yang melanggar batas $lb \leq x \leq ub$ ke bagian dalam bagian yang didefinisikan oleh batas. *quadprog* tidak mengubah komponen yang berada dalam batas.
- $x = \text{quadprog}(H, f, A, b, Aeq, beq, lb, ub, x0)$
Menyelesaikan permasalahan yang dimulai dari vector x_0 . jika tidak ada batasan, atur $lb = []$ dan $ub = []$. Beberapa algoritma *quadprog* mengabaikan x_0 . Jika tidak ada input x_0 maka semua komponen x_0 yang memungkinkan berada dalam batasan ditentukan.

3.2.2 Input Argumen dari *Quadratic Programming* (quadprog)

- H Matrik simetris yang menyatakan bentuk kuadrat dari persamaan $\frac{1}{2} * x' * H * x + f' * x$
- F Vector yang menyatakan bentuk linier dari persamaan $\frac{1}{2} * x' * H * x + f' * x$
- A Matrik yang menyatakan koefisien linier dari *inequality constraint* $A * x \leq b$
- B Vektor yang menyatakan vector konstan pada *inequality constraint* $A * x \leq b$
- Aeq Matrik yang menyatakan koefisien linier dari *equality constraint* $Aeq * x = beq$.
- Beq Vektor yang menyatakan vector konstan dari *equality constraint* $Aeq * x = beq$.
- Lb Vektor yang menyatakan batas bawah dari permasalahan $lb \leq x \leq ub$
- Ub Vektor yang menyatakan batas atas dari permasalahan $lb \leq x \leq ub$
- x_0 Optional. Vektor yang menyatakan *initial point* dari algoritma *quadprog*

3.2.3 *Quadratic Programming* (quadprog) Pada *Multi-Objective Economic Emission Load Dispatch* (MEELD)

Pada tugas akhir ini , *quadratic programming* yang digunakan adalah *quadratic programming* pada aplikasi matlab (quadprog) yang telah *include* di dalam program tersebut.

3.2.3.1 *Inisialisasi Permasalahan Multi-Objective Economic Emission Load Dispatch*

Dalam tugas akhir ini nilai *Transfer function* (FT) sebagai fungsi kuadrat yang berasal dari koefisien fungsi biaya dan emisi

yang di gabung menjadi satu buah persamaan *single objective* menggunakan *price penalty factor (h)* .

Nilai h di-*'blended'* untuk menjadi nilai a_i, b_i, c_i yang baru Sehingga,

$$FT = \sum_{i=1}^n W_c h_1 (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) + \sum_{i=1}^n W_e h_2 (d_i + e_i P_{Gi} + f_i P_{Gi}^2) \quad (3.4)$$

Kemudian ditambahkan menjadi :

$$FT = \sum_{i=1}^n ((W_c h_1 a_i + W_e h_2 d_i) + (W_c h_1 b_i + W_e h_2 e_i)) P_{Gi} + (W_c h_1 c_i + W_e h_2 f_i) P_{Gi}^2 \quad (3.5)$$

Dan akhirnya fungsi biaya dan emisi yang terbentuk menjadi satu fungsi baru. Fungsi baru inilah yang akan di proses oleh *quaratic programming* untuk menentukan pembebanan optimal pada tiap tiap pembangkit. Hasil fungsi nya adalah seperti persamaan 3.6 berikut :

$$\text{minimize } FT = \sum_{i=1}^n (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) \text{ €/h} \quad (3.6)$$

Subject to :

-Equality Constraint

Equality Constraint dari permasalahan *multi-objective economic emission load dispatch* ditunjukkan oleh persamaan 3.7

$$\sum P_i = P_D + P_L \quad (3.7)$$

dengan :

P_D = beban daya yang ditanggung (kW)

P_L = rugi daya yang terjadi pada sistem (kW)

-Inequality Constraint

Inequality Constraint dari permasalahan *multi-objective economic emission load dispatch* ditunjukkan oleh persamaan 3.8

$$P_{Gi} \min \leq P_G \leq P_{Gi} \max \quad (3.8)$$

dengan :

P_{Gi} adalah besar daya yang dibangkitkan oleh tiap generator ke- i

3.2.3.2 Pembentukan Matrik H Simetris yang Menyatakan Bentuk Kuadrat dari Persamaan

Untuk memetakan *multi-objective economic emission load dispatch* ke dalam *quadratic programming*, variabel fungsi objektif diberikan oleh output pembangkitan seperti pada persamaan 3.9 berikut:

$$x = [P_{G1}, P_{G2}, \dots, P_{GN}]^T \quad (3.9)$$

Matrik dimanipulasi kembali menjadi matrik diagonal dengan masing masing elemen matrik dikali dua sebagai penurunan dari bentuk kuadrat dari persamaan *cost and emission function* pembangkit. matrik H sebesar $n \times n$ yang menyatakan bentuk kuadrat dari persamaan

$\frac{1}{2} x^* H^* x + f^* x$ sebagai berikut :

$$H = 2 \times \begin{pmatrix} \frac{w_c h_1 a_1 + w_e h_2 a_{11}}{1 - 2B_{11}P_{G1}} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \frac{w_c h_1 a_N + w_e h_2 a_{NN}}{1 - 2B_{NN}P_{GN}} \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

Dengan :

H adalah Matrik simetris yang menyatakan bentuk kuadrat dari

persamaan $\frac{1}{2} x^* H^* x + f^* x$

w_c adalah koefisien pembobotan (*weighting factor*) pada biaya

w_e adalah koefisien pembobotan (*weighting factor*) pada emisi

h_1 adalah adalah price penalty factor untuk biaya (bernilai 1)

h_2 adalah price penalty factor emisi (rasio biaya maksimum dibagi emisi maksimum)

a_1 adalah data *cost function* pada koefisien a baris ke-1

a_{11} adalah data *emission function* pada koefisien a_{11} baris ke-1

a_N adalah data *cost function* pada koefisien a baris ke- n

$a1_N$ adalah data *emission function* pada koefisien $a1$ baris ke- n

3.2.3.3 Pembentukan Vektor F linier yang Menyatakan Bentuk Linear dari Cost Function

Pembacaan data *cost function* pada koefisien b dan data *emission function* pada koefisien $b1$ dari semua generator pembangkit yang ada dengan n = jumlah generator pembangkit . lalu dimanipulasi menjadi matrik $[1 : m \times n]$ dengan m adalah banyaknya jumlah beban yang dalam hal ini adalah 1 level beban . pembentukan matriknya adalah seperti yang ditunjukkan persamaan 3.11 berikut:

$$f = \left[\frac{w_c * h_1 * b_1 + w_e * h_2 * b1_1}{1 - 2B_{11}P_{G1}}, \dots, \frac{w_c * h_1 * b_N + w_e * h_2 * b1_N}{1 - 2B_{NN}P_{GN}} \right]^T \quad (3.11)$$

dengan :

b_1 adalah data *cost function* pada koefisien b baris ke-1

$b1_1$ adalah data *emission function* pada koefisien $b1$ baris ke-1

b_N adalah data *cost function* pada koefisien b baris ke- n

$b1_N$ adalah data *emission function* pada koefisien $b1$ baris ke- n

3.2.3.4 Pembentukan Matrik Aeq yang Menyatakan Koefisien Linear dari Equality Constraint $Aeq * x = Beq$

Equality Constraint dari permasalahan *economic dispatch* dapat ditulis sebagai persamaan 3.12 berikut :

$$P_{beban} + P_{Losses} = P_1 + P_2 \dots P_N \quad (3.12)$$

Diperlukan matrik Aeq $[m : (m-1) \times n]$ untuk menyatakan *equality constraint* diatas . missal untuk sistem dengan 6 buah generator dan satu level beban maka matrik Aeq nya adalah seperti berikut :

$$Aeq = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \quad (3.13)$$

3.2.3.5 Vektor *Beq* yang Menyatakan Vektor Konstan dari Equality Constraint $Aeq * x = Beq$

Diperlukan sebuah matrik seperti persamaan 3.14 untuk menyatakan vector konstan dari *equality constraint* . Karena tugas akhir ini merupakan *static economic dispatch* maka level beban hanya 1.

$$Beq [1; \text{jumlah beban} + \text{losses}] \quad (3.14)$$

Misal untuk sistem dengan 6 generator ($n=6$) dan satu level beban persamaan 3.15 menjadi persamaan berikut :

$$Beq = [P_{beban} + P_{losses}] \quad (3.15)$$

Jadi, *inequality constraint* pada *quadprog* dapat dituliskan seperti persamaan 3.16 berikut :

$$Aeq * x = beq \quad (3.16)$$

Maka persamaan 3.16 dapat dinyatakan dalam dalam persamaan 3.17 berikut:

$$[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] * \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{pmatrix} = [P_{beban} + P_{losses}] \quad (3.17)$$

3.2.3.6 Pembentukan Vektor *lb* dan *ub* yang Menyatakan Batas Atas dan Batas Bawah

Pembentukan vector *lb* dan *ub* harus sesuai dengan *inequality constraint economic dispatch* pada persamaan 3.18 berikut :

$$P_{Gi \min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi \max} \quad (3.18)$$

Dengan $P_{Gi \min}$ dan $P_{Gi \max}$ merupakan kapasitas pembangkit minimum dan maksimum dari generator unit ke- i . maka matrik yang bisa dibentuk untuk mewakili *lb* dan *ub* sebagai *inequality constraint* adalah seperti persamaan 3.19 dan 3.20 dibawah . misal untuk sistem dengan 6 generator maka batas atas dan batas bawah adalah sebagai berikut :

$$ub = \begin{pmatrix} P_{\max} \\ P_{\max} \\ P_{\max} \\ P_{\max} \\ P_{\max} \\ P_{\max} \end{pmatrix} \quad (3.19)$$

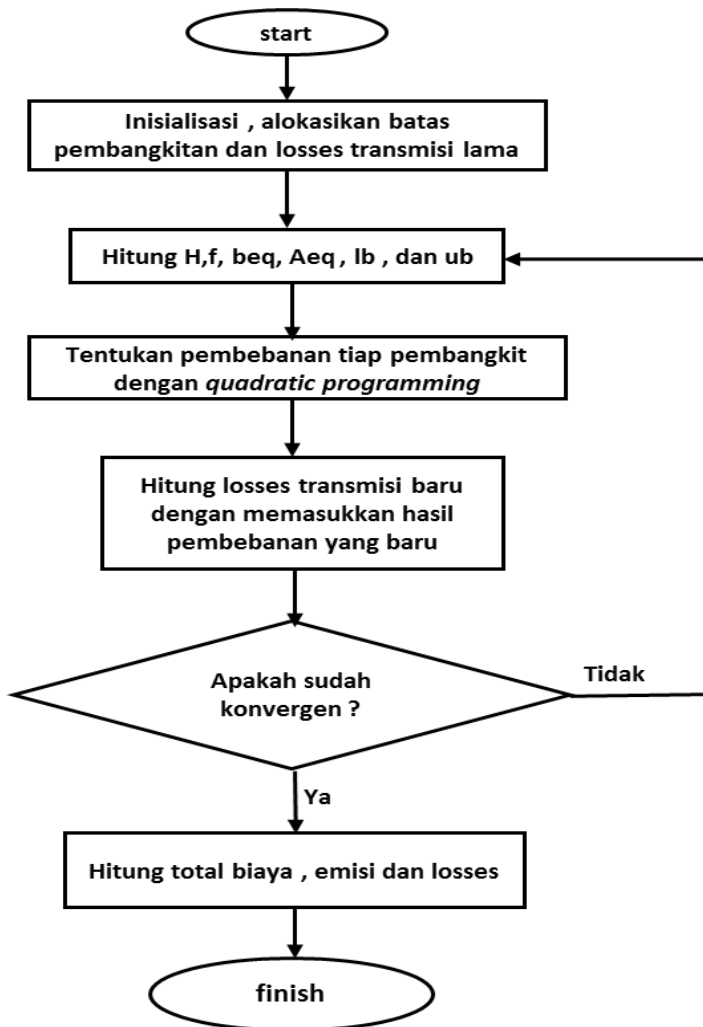
$$lb = \begin{pmatrix} P_{\min} \\ P_{\min} \\ P_{\min} \\ P_{\min} \\ P_{\min} \\ P_{\min} \end{pmatrix} \quad (3.20)$$

3.2.3.7 *Quadratic Programming pada Multi-objective Economic Emission Load Dispatch*

Dalam tugas akhir ini *quadratic programming* diimplementasikan pada *multi-objective economic emission dispatch* menggunakan program matlab. Adapun langkah langkah pemecahan permasalahannya adalah sebagai berikut [17] :

1. Inisialisasi prosedur, alokasikan batas batas pembangkitan tiap unit dan evaluasi losses transmisi lama.
2. Hitung H, f, beq, Aeq, lb, ub menggunakan persamaan 3.10 – 3.20
3. Tentukan pembebanan tiap pembangkit dengan memasukkan data yang ada pada langkah ke-2 ke dalam quadratic programming.
4. Hitung nilai losses transmisi yang baru dengan memasukkan hasil pembebanan tiap pembangkit yang baru.
5. Cek konvergensi $\left| P_D + P_L^{NEW} - \sum_{i=1}^N P_{Gi} \right| \leq \varepsilon$
6. Hitung ulang sampai konvergensi tercapai.

Secara detail urutan algoritma diatas dapat ditunjukkan dengan diagram alir seperti berikut ini:



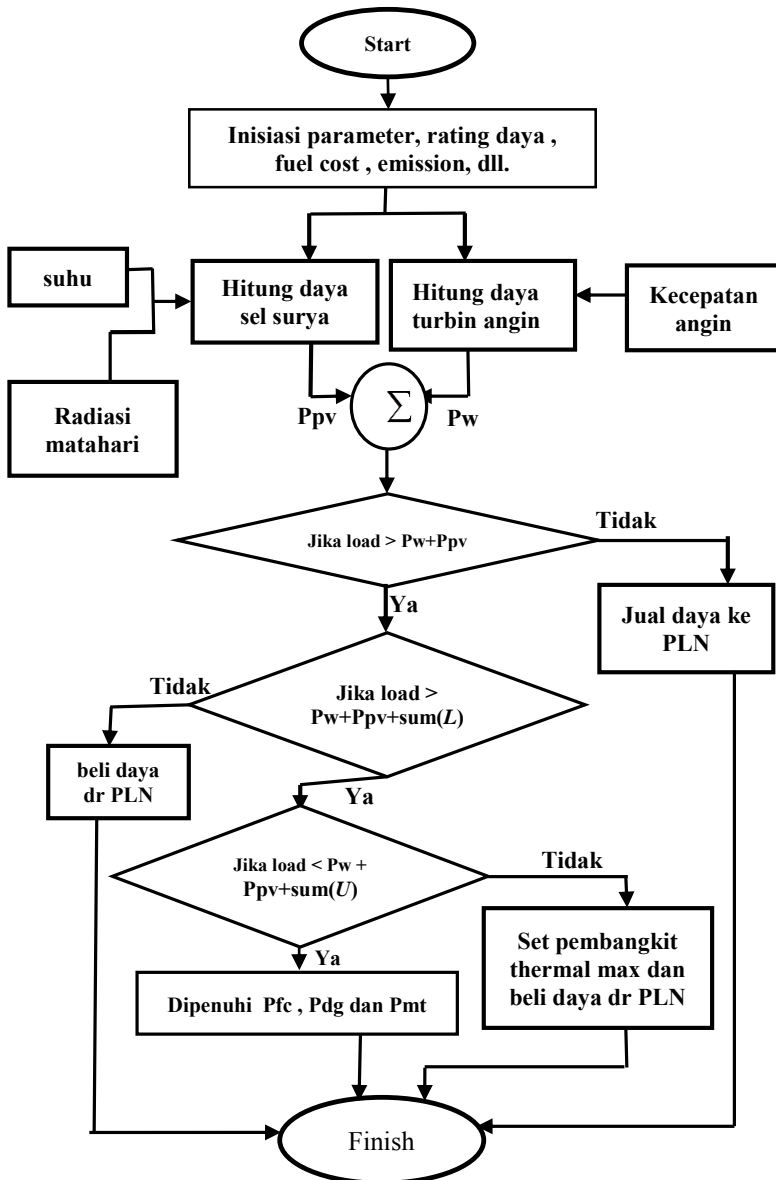
Gambar 3.2 Diagram alir *quadratic programming* pada *Multi-objective Economic Emission Load Dispatch*

3.2.3.8 Implementasi pada sistem kelistrikan *Micro Grid*

Dalam tugas akhir ini, terdapat algoritma yang digunakan untuk mengoperasikan sistem kelistrikan *Micro Grid* model *grid-connected* secara optimal. Algoritma tersebut adalah sebagai berikut [18] :

1. Daya keluaran yang dihasilkan oleh turbin angin di estimasikan sesuai dengan hubungan kecepatan angin dan daya keluarannya.
2. Daya keluaran dari sel surya dihitung sesuai dengan efek suhu dan radiasi matahari yang berbeda dari kondisi standar tes.
3. Asumsikan bahwa turbin angin dan sel surya tidak menghasilkan biaya dan emisi saat beroperasi.
4. Jika total permintaan beban lebih kecil dari daya keluaran sel surya dan turbin angin maka daya sisa akan dijual ke grid PLN.
5. Apabila daya relative kecil namun tidak bisa di cover oleh pembangkit berbasis *renewable* dan masih berada di bawah total batas bawah pembangkit thermal maka kita harus membeli daya dari PLN.
6. Dalam tugas akhir ini apabila daya yang dibangkitkan pembangkit *renewable* lebih kecil dari beban dan lebih besar dari total batas bawah pembangkit thermal maka kita harus memilih sumber lainnya dalam memenuhi kebutuhan beban (sel bahan bakar, turbin mikro, atau generator diesel) sesuai dengan fungsi tujuannya. dalam paper yang dijadikan acuan dalam tugas akhir ini, Pembangkit generator diesel merupakan yang paling murah sedangkan pembangkit turbin mikro merupakan yang paling mahal.
7. Jika daya keluaran seluruh pembangkit masih tidak cukup dalam memenuhi total permintaan beban maka akan membeli daya dari PLN.

Secara detail urutan algoritma diatas dapat ditunjukkan dengan diagram alir seperti berikut ini:



Gambar 3.3 Implementasi pada sistem *Micro Grid*

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS

Perhitungan *multi-objective economic emission load dispatch* dengan menggunakan *quadratic programming* akan dibahas dan dianalisis secara mendalam dalam bab ini. Hasil perhitungan yang diperlihatkan berupa table-table yang meliputi pembangkitan optimal, biaya total, emisi total, jual beli daya PLN dengan berbagai kondisi beban. Hasil dari simulasi ini akan memperlihatkan perbandingan dari aplikasi metode terhadap beberapa studi kasus. Dalam Tugas Akhir ini, data yang dimasukkan merupakan asumsi dari referensi jurnal.

4.1 Validasi

Untuk mengetahui performa program *quadratic programming* yang telah di buat, maka perlu diuji terlebih dahulu menggunakan data IEEE *Conference Publication* tahun 2014 yang berjudul “*environmentally Constrained Economic Dispatch Via Quadratic Programming*” oleh F.Z Gherbi dan F. Lakdja..

4.1.1 Validasi *Quadratic Programming* pada *Multi-Objective Economic Emission Load Dispatch* dengan Paper IEEE (11)

Pada contoh kasus dalam Paper ini, *quadratic programming* di tes terhadap IEEE 6 generator, 30 bus sistem dengan koefisien fungsi biaya dan fungsi emisi dan *limit* masing masing generator. Selain itu koefisien matrik losses juga sudah tersedia dalam table 4.1 berikut [11].

Tabel 4.1 Data *Cost Function* Pembangkit thermal

unit	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	Min (MW)	Max (MW)
1	0.15247	38.53973	756.79886	10	125
2	0.10587	46.15916	451.32513	10	150
3	0.02803	40.39655	1049.9977	35	225
4	0.03546	38.30553	1243.5311	35	210
5	0.02111	36.32782	1658.5696	130	325
6	1.01799	38.27041	1356.6592	125	315

Data *emission function* pembangkit thermal yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan oleh tabel 4.2 .

Tabel 4.2 Data *emission function* pembangkit thermal

unit	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
1	0.0042	0.33	13.86
2	0.0042	0.33	13.86
3	0.00683	-0.5455	40.267
4	0.00683	-0.5455	40.267
5	0.0046	-0.5112	42.9
6	0.0046	-0.5112	42.9

Data losses saluran disini sudah dalam bentuk matrik losses (B) , jadi diasumsikan matrik B adalah matrik losses saat optimal. Adapun data matriks losses B ditunjukkan pada tabel 4.3 .

Tabel 4.3 Data B koefisien Pada Orde 10^{-6}

140	17	15	19	26	22
17	60	13	16	15	20
15	13	65	17	24	19
19	16	17	71	30	25
26	15	24	30	69	32
22	20	19	25	32	85

Program *quadratic programming* di tes pada 3 level beban yang berbeda , data beban dan price penalty factor yang diambil dari paper ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Data beban dan price penalty factor

Beban (MW)	price penalty factor (\$/Kg)
500	43.898
700	44.788
900	47.822

Pengujian terhadap program dimaksudkan untuk mengamati daya keluaran setiap unit pembangkit dari program *multi-objective economic emission load dispatch* menggunakan *quadratic programming*

yang dibuat. Jika data keluaran setiap pembangkit dari *quadratic programming* sesuai dengan hasil perhitungan pada paper, maka dapat dikatakan bahwa program *multi-objective economic emission load dispatch* menggunakan *quadratic programming* yang dibuat dapat diaplikasikan untuk permasalahan *multi-objective economic emission load dispatch*. Selain itu akan dilihat perbandingan pada daya total, emisi total dan losses yang dihasilkan dari paper dan running program *multi-objective economic emission load dispatch* menggunakan *quadratic programming*.

4.1.1.1 Simulasi untuk Validasi Quadratic Programming Pada Multi-Objective Economic Emission Load Dispatch dengan Paper IEEE

Hasil pembebanan optimal tiap pembangkit dan total biaya, emisi serta losses dari paper “*environmentally constrained economic dispatch via quadratic programming*” ditunjukkan pada tabel 4.5 dan 4.6 berikut;

Tabel 4.5 hasil pembebanan tiap unit pembangkit *multi-objective economic emission load dispatch*” pada paper.

beban	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P5 (MW)	P6 (MW)
500	33.2732	26.8554	89.9135	90.4852	135.643	132.7631
700	62.1045	61.6732	119.9718	119.4721	178.1939	175.6409
900	92.3296	98.3912	150.1948	148.5587	220.4042	218.1307

Tabel 4.6 hasil biaya, emisi dan losses sistem dari paper

Beban	PL(MW)	Biaya(\$/h)	Emisi (Kg/h)
500	8.9341	27613	263.0126
700	17.0565	37501	439.6075
900	28.0092	48350	693.7875

Sedangkan hasil running simulasi pembebanan tiap pembangkit dan juga nilai total biaya, emisi dan losses dengan program *multi-objective economic emission load dispatch* menggunakan *quadratic programming* dengan *weighting factor* seimbang ($W_c = 0.5$ dan $W_e = 0.5$) adalah pada tabel 4.7 dan 4.8 dibawah ini,

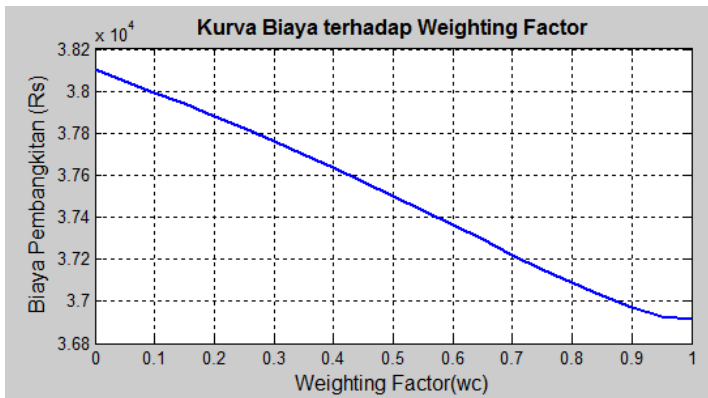
Tabel 4.7 hasil running simulasi pembebanan tiap unit pembangkit *multi-objective economic emission load dispatch*”

beban	P1 (MW)	P2 (MW)	P3 (MW)	P4 (MW)	P5 (MW)	P6 (MW)
500	33.2733	26.8554	89.9136	90.4852	135.643	132.7631
700	62.1045	61.6732	119.972	119.472	178.1939	175.6409
900	92.3297	98.3912	150.195	148.559	220.4043	218.1307

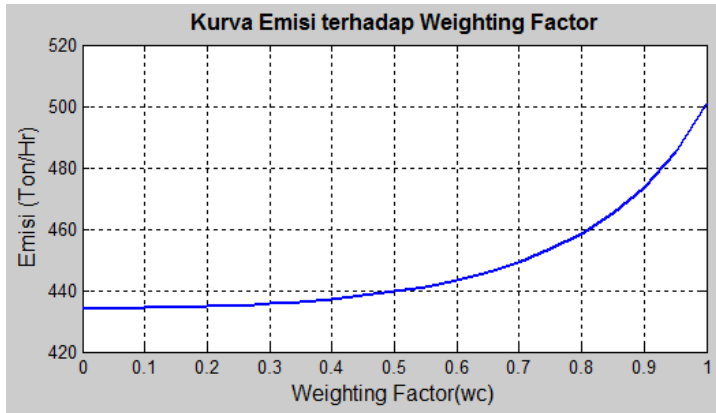
Tabel 4.8 hasil running simulasi losses, biaya dan emisi menggunakan *multi-objective economic emission load dispatch*”

Beban	PL(MW)	Biaya(\$/h)	Emisi (Kg/h)
500	8.9341	27613	263.0126
700	17.0565	37501	439.6075
900	28.0097	48351	693.7879

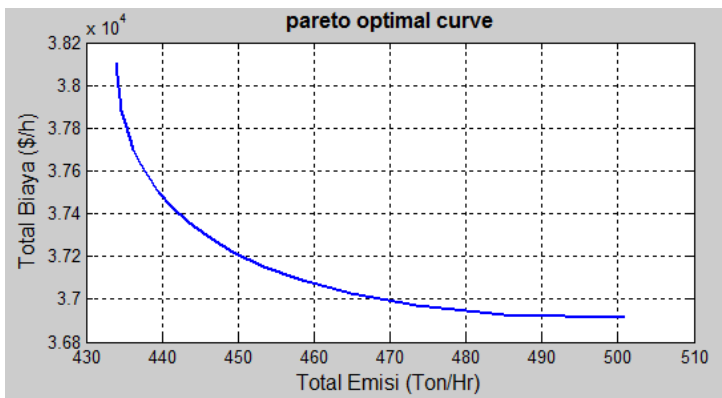
Dalam running program , dilakukan simulasi pada berbagai level pembobotan (*weighting factor*) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap total biaya dan total emisi sistem. Pembobotan tersebut di jalankan pada 21 kondisi mulai dari $W_c = 0$ sampai dengan $W_c = 1$ dengan interval tiap 0.05. kemudian hasil tersebut dinyatakan dalam *pareto optimal curve* yang menyatakan *improvement* antara biaya dan emisi [9]. adapun hasilnya ditunjukkan oleh gambar 4.1- 4.3.



Gambar 4.1 Pengaruh *weighting factor* terhadap biaya pembangkitan

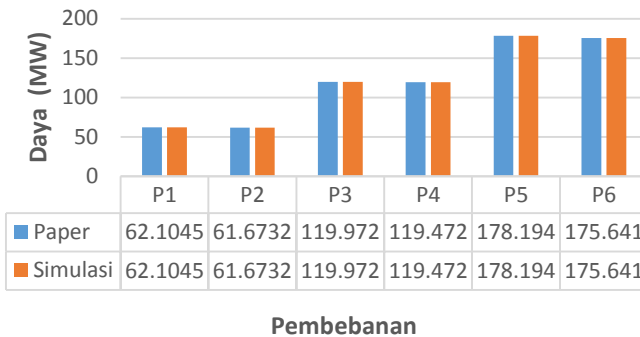


Gambar 4.2 Pengaruh *weighting factor* terhadap emisi

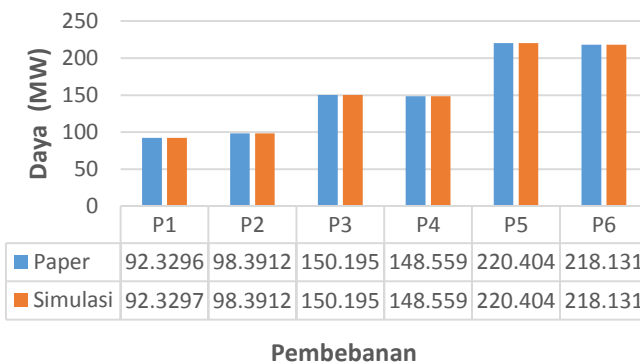


Gambar 4.3 *Pareto Optimal Curve* pada level beban 700 MW

Diagram perbandingan pembebanan tiap unit pembangkit antara running program yang dibuat dan hasil yang didapat dari paper pada beberapa level beban. Hal ini ditujukan untuk mengetahui seberapa akurat hasil yang didapatkan antara paper dan program simulasi yang telah dibuat. Pembebanan ini diambil sampel hasil pada level beban 700 MW dan 900 MW yang masing masing ditunjukkan oleh gambar 4.4-4.5 berikut.

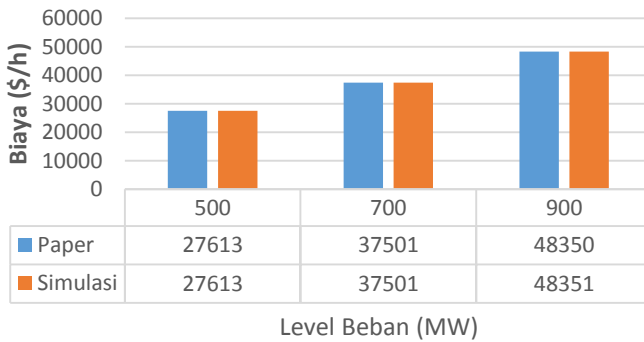


Gambar 4.4 Diagram perbandingan pembebanan tiap pembangkit pada beban 700 MW.

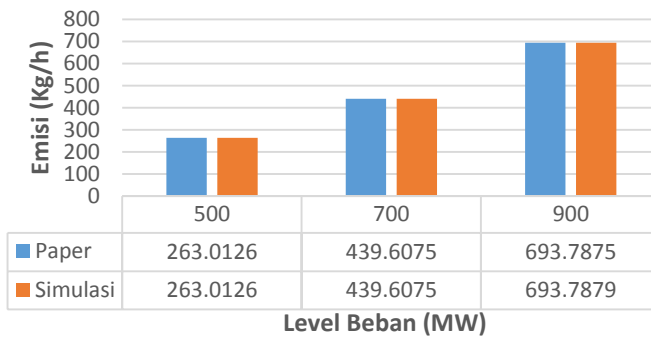


Gambar 4.5 Diagram perbandingan pembebanan tiap pembangkit pada beban 900 MW.

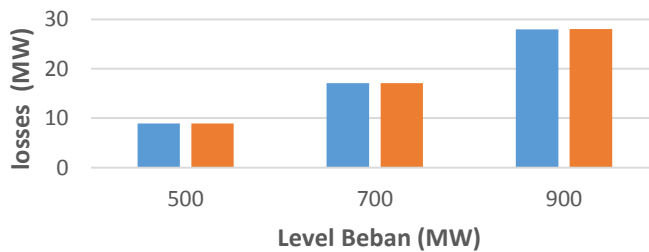
Berdasarkan simulasi yang telah dijalankan, didapatkan hasil total harga , emisi dan losses pada beban 500 MW ,700 MW dan 900 MW ditunjukkan masing masing oleh gambar 4.6 - 4.8 berikut ini :



Gambar 4.6 Diagram perbandingan biaya pembangkitan pada simulasi dan paper



Gambar 4.7 Diagram perbandingan emisi pada simulasi dan paper



Gambar 4.8 Diagram perbandingan losses pada simulasi dan paper

4.1.1.2 Analisis Validasi Quadratic Programming pada Multi-Objective Economic Emission Load Dispatch dengan Paper IEEE

Dari data diatas dapat dilihat bahwa pada saat beban 500 MW dan 700 MW hasil perhitungan pada paper “ *environmentally constrained economic dispatch via quadratic programming*” dan hasil running simulasi program *multi-objective economic emission load dispatch* menggunakan *quadratic programming* menghasilkan hasil yang sama pada tiap pembebanan masing masing pembangkitan sedangkan pada saat beban 900 MW terjadi sedikit sekali perbedaan hasil sebesar 0.0001 karena perbedaan pembulatan.

Hasil yang didapat dari running simulasi pada biaya , emisi dan losses juga mnghasilkan hasil yang mirip karena memang daya yang dibangkitkan dan porsi pembebanan nya sama jadi hasil biaya , emisi dan losses nya pasti sama, adanya sedikit perbedaan dikarenakan perbedaan pembulatan yang ada pada program.

Selain itu berdasarkan grafik pada gambar 4.1- 4.3 dapat kita amati bahwa semakin besar pembobotan pada biaya (Wc) maka biaya akan semakin murah namun emisi akan semakin mahal . Setelah kita plot dalam *pareto optimal curve* dapat kita lihat variasi *improvement* antara biaya dan emisi yang saling berkebalikan.

Dari hasil diatas dapat kita simpulkan bahwa program *multi-objective economic emission load dispatch* menggunakan *quadratic programming* dapat di implementasikan pada kasus *multi-objective economic emission load dispatch* .

4.2 Studi Kasus

Pada sub bab ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang diperlihatkan berupa table-tabel yang meliputi pembangkitan optimal, biaya total, emisi total , jual beli daya PLN dengan berbagai kondisi beban. Hasil dari simulasi ini akan memperlihatkan perbandingan dari aplikasi metode terhadap beberapa studi kasus. Terdapat 7 studi kasus yang merepresentasikan variasi kemungkinan yang terjadi di sistem *Micro Grid*.. dalam studi kasus ini akan diketahui efek pembebanan dari emisi dan biaya dan juga pengaruh dari penambahan *renewable energy* pada sistem *Micro Grid* , dalam tugas akhir ini biaya pemeliharaan dan pembelian / pengadaan komponen diabaikan.

4.2.1 Studi Kasus 1

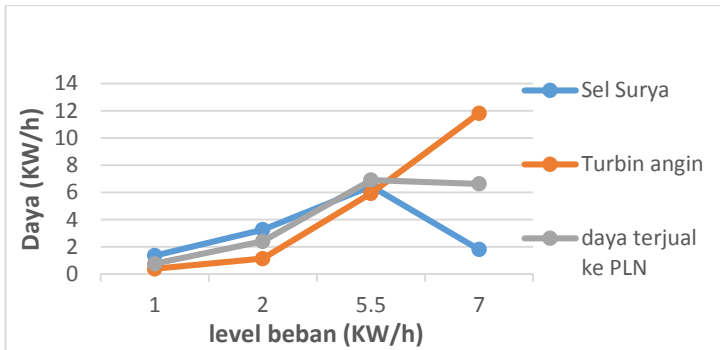
Studi kasus 1 merepresentasikan keadaan grid dimana total permintaan beban lebih kecil dari daya keluaran sel surya dan turbin angin sehingga daya dari sel surya dan turbin angin bisa mengcover beban yang ada dalam sistem , jadi sisa daya yang dibangkitkan kedua pembangkit itu *surplus* sehingga bisa dijual ke grid PLN. Pada studi kasus ini ada 4 kondisi dimana masing masing memiliki variasi masukan yang berbeda beda seperti kecepatan angin , jumlah turbin angin, radiasi matahari , suhu ,jumlah sel surya dan beban sistem tersebut.Data yang dimasukkan dalam simulasi ditunjukkan pada tabel 4.9 dan hasil simulasi berupa total daya pembangkitan turbin angin , sel surya dan daya jual tiap level beban ditunjukkan pada tabel 4.10 berikut:

Tabel 4.9 Data inputan pembangkit renewable Studi kasus 1

kasus	Total beban (Kw/h)	kecepatan angin (m/s)	jumlah turbin angin	Radiasi matahari (W/m^2)	Suhu (c)	jumlah sel surya
1	1	8	3	1000	60	20
2	2	10	5	1500	50	30
3	5.5	15	10	2000	30	40
4	7	17	15	500	50	50

Tabel 4.10 Hasil Simulasi Studi kasus 1

kasus	Daya sel surya (Kw/h)	Daya turbin angin (Kw/h)	Total daya Renewable (Kw/h)	Total Penjualan daya (kW/h)
1	1.369	0.392	1.762	0.762
2	3.268	1.146	4.414	2.414
3	6.474	5.942	12.416	6.916
4	1.816	11.817	13.632	6.632



Gambar 4.9 Perbandingan daya sel surya , turbin angin dan daya jual ke PLN

Berdasarkan hasil simulasi pada tabel 4.10 dan gambar 4.9, dapat dilihat perbedaan daya yang dibangkitkan oleh sel surya dan turbin angin ketika mendapat variasi masukan yang berbeda. Hal itu disebabkan karena tiap pembangkit mempunyai karakteristik yang berbeda sesuai dengan fungsi pembangkitannya masing-masing seperti yang telah ditunjukkan pada bab 3. Daya yang dibangkitkan turbin angin dipengaruhi oleh kecepatan angin dan jumlah unit turbin angin , karakteristik turbin angin membuat perbedaan dikit masukan kecepatan angin membuat perbedaan daya keluaran yang cukup signifikan , Sedangkan daya yang dibangkitkan sel surya dipengaruhi oleh radiasi matahari, suhu, dan jumlah modul sel surya. Berbagai variasi total beban disimulasikan untuk mengetahui berapa sisa daya terbangkit yang mampu dijual ke PLN .

4.2.2 Studi Kasus 2

Pada studi kasus 2 , beban yang ditanggung oleh *Micro Grid* lebih besar dari daya yang dibangkitkan oleh turbin angin dan sel surya , namun besar beban tidak terlalu besar sehingga tidak bisa di cover oleh pembangkit thermal karena berada di bawah batas bawah pembangkitan ,karena daya yang dibutuhkan tidak terlalu besar maka beban lebih tersebut akan ditanggung oleh grid PLN, dalam kasus ini ada 4 kondisi dengan masukan kecepatan angin , jumlah turbin angin , radiasi matahari , suhu dan jumlah sel surya yang sama , yang berbeda hanyalah jumlah beban sistem . Data yang dimasukkan dalam simulasi ditunjukkan pada

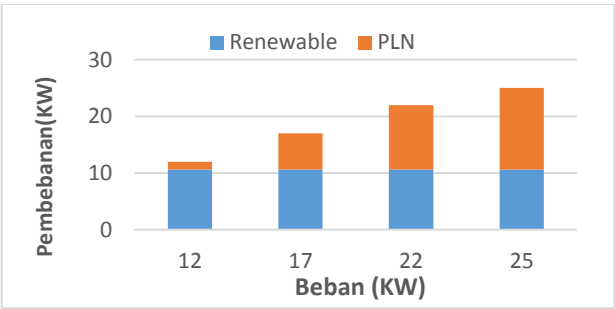
tabel 4.11 dan hasil simulasi berupa Total pembelian daya PLN pada beberapa level beban ditunjukkan pada tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.11 Data inputan pembangkit renewable Studi kasus 2

Kasus	Total beban (Kw/h)	kecepatan angin (m/s)	jumlah turbin angin	Radiasi matahari (W/m^2)	Suhu (C)	jumlah sel surya
1	12	17	10	1000	60	40
2	17	17	10	1000	60	40
3	22	17	10	1000	60	40
4	25	17	10	1000	60	40

Tabel 4.12 Hasil Simulasi Studi kasus 2

kasus	Total Beban (Kw/h)	Total Daya Renewable (Kw/h)	Total Pembelian Daya (kW/h)
1	12	10.617	1.383
2	17	10.617	6.383
3	22	10.617	11.383
4	25	10.617	14.383



Gambar 4.10 Porsi Pembebanan pada Pembangkit Renewable dan PLN

Dari tabel 4.12 dan gambar 4.10 dapat kita lihat bahwa daya yang dibangkitkan oleh 10 turbin angin dan 40 sel surya berdasarkan masukan diatas hanya sebesar 10.617 kW sedangkan beban berbeda pada tiap kasus, besarnya beban yang harus dibeli dari grid PLN berbanding lurus dengan besarnya beban , pada case ke 4 total beban mencapai 14, 383 *kw* , jumlah tersebut masih di bawah total batas bawah pembangkit sebesar 15 kw . ketika beban diatas 15 KW maka beban akan di cover oleh pembangkit thermal karena sudah memenuhi syarat *economic dispatch*.

4.2.3 Studi Kasus 3

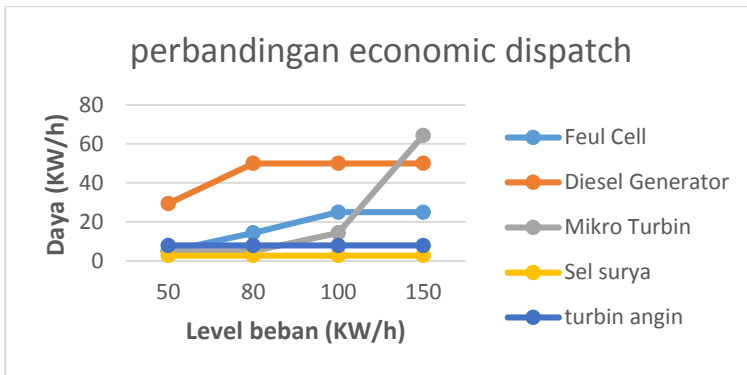
Pada studi kasus Studi kasus 2 merepresentasikan kondisi dimana ketika beban yang harus ditanggung oleh sistem diluar pembangkit renewable diatas 15 KW . Daya pembangkit berbahan bakar (sel bahan bakar, turbin mikro, dan generator diesel) dibutuhkan untuk membantu memenuhi total permintaan beban. *Multi-objective economic emission load dispatch* menggunakan *quadratic programming* digunakan untuk menentukan pembangkitan yang optimal untuk masing-masing pembangkit berbahan bakar tersebut. Dalam studi kasus 2 ini, yang menjadi prioritas utama yaitu minimisasi biaya operasi daripada minimisasi emisi sehingga parameter w_e ditentukan 1 sedangkan parameter w_e ditentukan 0, jadi pada studi kasus ini murni sebagai *economic dispatch* dan emisi diabaikan. Untuk mengetahui perbedaan daya yang dibangkitkan oleh pembangkit berbahan bakar pada berbagai level beban , Data masukkan dalam simulasi ditunjukkan pada tabel 4.13 dan hasil simulasi pada beberapa level beban ditunjukkan pada tabel 4.14 berikut.

Tabel 4.13 Data inputan pembangkit renewable Studi kasus 3

Kasus	Total beban (Kw/h)	kecepatan angin (m/s)	jumlah turbin angin	Radiasi matahari (W/m^2)	Suhu (C)	jumlah sel surya
1	50	17	10	1000	60	40
2	80	17	10	1000	60	40
3	100	17	10	1000	60	40
4	150	17	10	1000	60	40

Tabel 4.14 Hasil running simulasi studi kasus 3 (*economic dispatch*)

Ka sus	Total Beban (Kw/h)	Daya sel surya (Kw/h)	Daya turbin angin (Kw/h)	Fuel Cell (Kw/h)	Diesel Engine (Kw/h)	Micro Turbine (Kw/h)	Total emisi (ton/h)	Total Biaya operasi (€/h)
1	50	2.739	7.878	5	29.383	5	1.035	1683.5
2	80	2.739	7.878	14.38	50	5	1.721	2948.6
3	100	2.739	7.878	25	50	14.38	1.892	3882.7
4	150	2.739	7.878	25	50	64.38	3.857	6322.1



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan daya yang dibangkitkan masing-masing generator pada *economic dispatch*

Dari tabel 4.14 dan gambar 4.11, dapat kita amati perbedaan daya yang dibangkitkan oleh pembangkit berbahan bakar dengan asumsi pembangkitan dari pembangkit *renewable* besarnya sama dalam berbagai variasi beban. Pembangkit diesel generator dioperasikan paling besar dalam memenuhi total permintaan beban karena memiliki biaya operasi yang paling murah meskipun emisi diesel cukup besar namun dalam case kali ini hanya biaya yang diperhitungkan dalam pembebanan tiap pembangkit sedangkan emisi hanya mengikuti berdasarkan hasil daya yang dibangkitkan tiap pembangkit, sedangkan pembangkit turbin mikro dioperasikan paling kecil karena memiliki biaya operasi yang paling besar. Pada saat beban 50 KW mikro turbin dan *fuel cell* berada pada kondisi minimal dan sisa nya dibangkitkan oleh

diesel generator karena diesel generator adalah yang paling murah. Pada saat beban sebesar 80 KW daya yang dibangkitkan oleh mikro turbin masih berada pada batas bawah pembangkitan namun pembangkitan diesel generator sudah berrda pada kondisi maksimal sehingga ketika beban dinaikkan terus maka yang akan berubah ubah hanya daya yang dibangkitkan oleh *fuel cell* dan mikro turbin.pada saat beban 100 KW , daya yang dibangkitkan oelh *fuel cell* juga sudh mencapai maksimal , ini terjadi karena adanya perbedaan biaya yang cukup besar untuk membangkitkan mikro turbin daripada membangkitkan diesel generator dan *fuel cell* . Karakteristik diesel ,*fuel cell*, dan mikro turbin merupakan karakterisik yang ada dalam paper , tentu saja tiap merek produk atau pabrikan memiliki besar kurva biaya dan emisi yang berbeda. Dalam studi kasus 2 ini, total biaya operasi merupakan prioritas utama untuk diminimisasi dari pada total emisi. Akan didapatkan hasil yang berbeda ketika total emisi menjadi prioritas utama untuk diminimisasi daripada total biaya operasi seperti yang ditunjukkan dalam studi kasus 4.

4.2.4 Studi Kasus 4

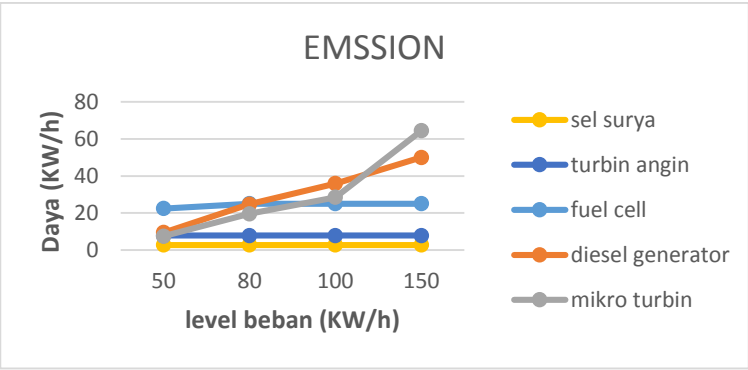
Studi kasus 4 ini hamper sama dengan studi kasus 3, studi kasus 4 memperlihatkan hasil perhitungan ketika total permintaan beban lebih besar dari daya keluaran sel surya dan turbin angin sehingga dibutuhkan pembangkit berbahan bakar (sel bahan bakar, turbin mikro, dan generator diesel) untuk membantu memenuhi total permintaan beban. *Multi-objective economic emission load dispatch* menggunakan *quadratic programming* digunakan untuk menentukan pembangkitan yang optimal untuk masing-masing pembangkit berbahan bakar tersebut. Tetapi yang berbeda adalah dalam studi kasus 4 yang menjadi prioritas utama untuk diminimisasi yaitu emisi daripada biaya operasinya. Berkebalikan dengan studi kasus 3, parameter w_e ditentukan 0 sedangkan parameter w_c ditentukan 1. jadi dengan kata lain ini bisa disebut sebagai *emission dispatch* karena yang menjadi focus disini hanya pada meminimalkan emisi sedangkan biaya hanya mengikuti berdasarkan besar daya yang dibangkitkan oleh masing masing pembnagkit. parameter masukan pembangkit renewable disamakan dengan studi kasus 3 karena studi kasus ke 3,4 dan 5 nantinya akan dibandingkan untuk mengetahui perbedaan hasil dari optimasi dengan 3 penekanan yang berbeda. Data masukkan dalam simulasi ditunjukkan pada tabel 4.15 dan hasil simulasi pada beberapa level beban ditunjukkan pada tabel 4.16 berikut.

Tabel 4.15 Data inputan pembangkit renewable Studi kasus 4

kasus	Total beban (Kw/h)	kecepatan angin (m/s)	jumlah turbin angin	Radiasi matahari (W/m^2)	Suhu (C)	jumlah sel surya
1	50	17	10	1000	60	40
2	80	17	10	1000	60	40
3	100	17	10	1000	60	40
4	150	17	10	1000	60	40

Tabel 4.16 Hasil running simulasi studi kasus 4 (*emission dispatch*)

Ka sus	Total Beban (Kw/h)	Daya sel surya (Kw/h)	Daya turbin angin (Kw/h)	Fuel Cell (Kw/h)	Diesel Engine (Kw/h)	Micro Turbine (Kw/h)	Total emisi (ton/h)	Total Biaya operasi (€/h)
1	50	2.739	7.878	22.414	9.488	7.48	0.826	1787.7
2	80	2.739	7.878	25	24.753	19.63	1.231	3107.6
3	100	2.739	7.878	25	35.889	28.493	1.717	3989.5
4	150	2.739	7.878	25	50	64.383	3.857	6322.1



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan daya yang dibangkitkan masing masing generator pada *emission dispatch*

Dari hasil simulasi *emission dispatch* pada tabel 4.16 dan gambar (4.12), terlihat perbedaan daya yang dibangkitkan oleh pembangkit berbahan bakar dengan asumsi pembangkitan dari pembangkit *renewable* besarnya sama dalam berbagai variasi beban. Pembangkit sel bahan bakar dioperasikan paling besar dalam memenuhi total permintaan beban karena memiliki emisi yang paling kecil, sedangkan pembangkit generator diesel dioperasikan paling kecil karena memiliki emisi yang paling besar.

Pada saat beban 50 KW pembebanan tiap pembangkit masih belum ada yang sampai pada batas maksimal, namun ketika beban naik menjadi 80 KW daya yang dibangkitkan oleh *fuel cell* mencapai batas maksimal sebesar 25 KW sedangkan porsi pembebanan untuk diesel generator dan mikro turbin terus bertambah.

Dalam studi kasus 3 ini, total emisi merupakan prioritas utama untuk diminimisasi daripada total biaya operasi. Terlihat perbedaan hasil simulasi diantara studi kasus 3 dan studi kasus 4 dimana total emisi pada studi kasus 4 lebih kecil dibandingkan dengan total emisi pada studi kasus 3 tetapi biaya operasi pada studi kasus 4 lebih besar dari biaya operasi pada studi kasus 3.

4.2.5 Studi Kasus 5

Studi kasus 5 adalah kombinasi antara studi kasus 3 dan studi kasus 4. Dalam studi kasus 5, yang menjadi prioritas untuk diminimisasi adalah keduanya yaitu total biaya operasi dan total emisi atau biasa disebut sebagai *Multi-objective economic emission load dispatch* menggunakan *quadratic programming*. Keduanya memiliki kepentingan yang sama. Maka dari itu, parameter w_c dan parameter w_e ditentukan seimbang yaitu 0.5.

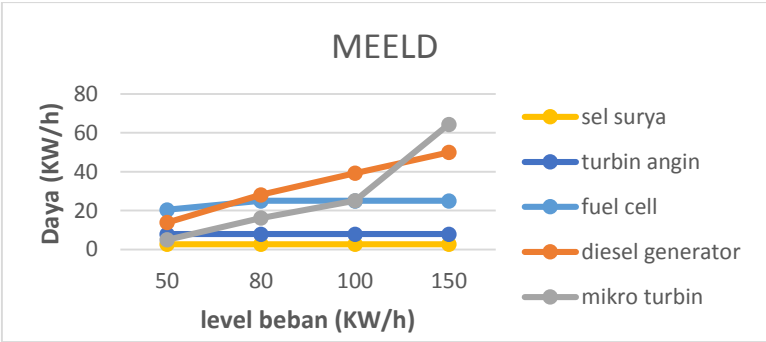
Parameter masukan pembangkit *renewable* seperti kecepatan angin, jumlah turbin angin dan parameter masukan masukan sel surya serta level beban disamakan seperti kasus 3 dan kasus 4 untuk melihat hasil keoptimalannya dibandingkan dengan ketika yang dioptimalkan hanya biaya atau emisi saja, Data masukkan dalam simulasi ditunjukkan pada tabel 4.17 dan hasil simulasi pada beberapa level beban ditunjukkan pada tabel 4.18 berikut.

Tabel 4.17 Data inputan pembangkit renewable Studi kasus 5

kasus	Total beban (Kw/h)	kecepatan angin (m/s)	jumlah turbin angin	Radiasi matahari (W/m ²)	Suhu (C)	jumlah sel surya
1	50	17	10	1000	60	40
2	80	17	10	1000	60	40
3	100	17	10	1000	60	40
4	150	17	10	1000	60	40

Tabel 4.18 Hasil running simulasi studi kasus 5 (*Multi-objective economic emission load dispatch*)

Ka sus	Total Beban (Kw/h)	Daya sel surya (Kw/h)	Daya turbin angin (Kw/h)	Fuel Cell (Kw/h)	Diesel Engine (Kw/h)	Micro Turbine (Kw/h)	Total emisi (ton/h)	Total Biaya operasi (€/h)
1	50	2.739	7.878	20.45	13.924	5	0.837	1758
2	80	2.739	7.878	25	28.15	16.232	1.241	3081
3	100	2.739	7.878	25	39.267	25.11	1.727	3963.2
4	150	2.739	7.878	25	50	64.383	3.857	6322.1



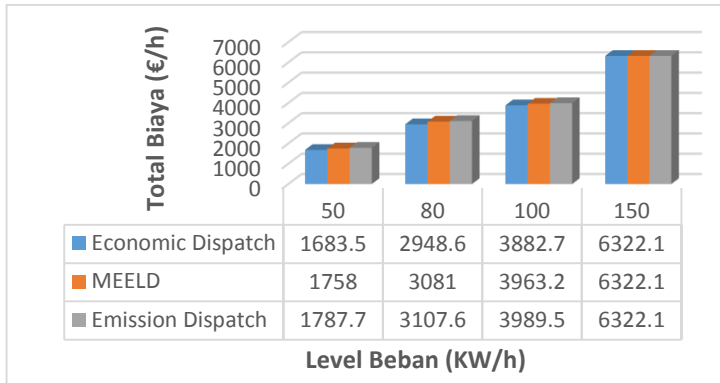
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan daya yang dibangkitkan masing masing generator pada *multi-objective economic emission load dispatch*

Dari hasil simulasi pada tabel 4.18 dan gambar 4.13, terlihat perbedaan daya yang dibangkitkan oleh pembangkit berbahan bakar dengan asumsi pembangkitan dari pembangkit *renewable* besarnya sama dalam berbagai variasi beban. Pada saat beban 50 KW, daya yang dibangkitkan oleh mikro turbin masih berada pada batas bawah karena biaya dan emisi mikro turbin yang lebih mahal daripada biaya dan emisi dari *fuel cell* dan diesel generator. Pada saat beban 80 KW, daya yang dibangkitkan oleh *fuel cell* sudah mencapai batas maksimum, ini terjadi terutama karena emisi yang dihasilkan oleh *fuel cell* sangat kecil dibandingkan dengan diesel generator dan mikro turbin. Pada saat beban sebesar 150 besar daya yang dibangkitkan oleh *fuel cell* dan diesel generator berada pada kondisi maksimal sedangkan sisanya ditanggung oleh mikro turbin. Karena mikro turbin menghasilkan emisi yang cukup besar dan juga biaya yang cukup mahal untuk membangkitkan dayanya. Hasil yang didapat menggunakan *Multi-objective economic emission load dispatch* menggunakan *quadratic programming* ini berada diantara hasil yang didapat saat *economic dispatch* dan *emission dispatch*. Hasil ini sudah sesuai dengan teori yang seharusnya, namun karena dalam ruang lingkup mikro grid hasilnya tidak terlihat besar.

Secara umum, tren hasil simulasi memperlihatkan perbedaan nilai total biaya operasi dan total emisi jika dibandingkan dengan studi kasus 3 dan studi kasus 4. Nilai yang didapatkan dalam studi kasus 5 merupakan nilai tengah dari studi kasus 3 dan studi kasus 4. Terlihat nilai total emisi pada studi kasus 5 lebih besar dari studi kasus 4 tetapi lebih kecil dari studi kasus 3. Sedangkan nilai total biaya operasi pada studi kasus 5 lebih kecil dari studi kasus 4 tetapi lebih besar dari studi kasus 3, untuk memperjelas perbedaan hasil ketika studi kasus diatas, dapat kita lihat pada tabel 4.19 dan 4.20 berikut :

Tabel 4.19 Perbandingan total biaya pada studi kasus 3, 4 dan 5

kasus	Total Beban (Kw/h)	Total Daya Renewable (Kw/h)	economic dipatch	MEELD	Emission Dispatch
1	50	10.617	1683.5	1758	1787.7
2	80	10.617	2948.6	3081	3107.6
3	100	10.617	3882.7	3963.2	3989.5
4	150	10.617	6322.1	6322.1	6322.1

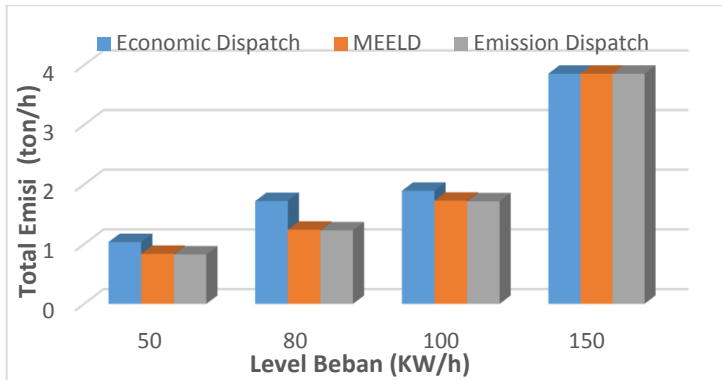


Gambar 4.14 Diagram perbandingan total biaya pada *economic* , *emission* dan *multi-objective economic emission load dispatch*

Berdasarkan tabel 4.19 dan Gambar 4.14 dapat kita amati bahwa pada level beban 50 KW , 80 KW dan 100 KW terlihat perbedaan biaya dari ketiga kasus diatas karena pada level level beban tersebut variasi pembangkitan masih terjadi, namun pada saat level beban 150 menghasilkan hasil yang sama karena level beban tersebut hampir mencapai maksimal daya yang bisa di tanggung oleh sistem dan daya yang dibangkitkan oleh *fuel cell* dan mikro turbin sudah mencapai batas maksimal sehingga pembebanan ketiga pembangkit thermal menjadi sama , jadi hasilnya sama.

Tabel 4.20 Perbandingan total emisi pada studi kasus 3, 4 dan 5

kasus	Total Beban (Kw/h)	Total Daya Renewable (Kw/h)	economic dipatch	MEELD	Emission Dispatch
1	50	10.617	1.035	0.837	0.826
2	80	10.617	1.7211	1.241	1.231
3	100	10.617	1.892	1.727	1.717
4	150	10.617	3.857	3.857	3.857



Gambar 4.15 Diagram perbandingan total emisi pada *economic* , *emission* dan *multi-objective economic emission load dispatch*

Berdasarkan tabel 4.20 dan Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa pada level beban 50 KW , 80 KW dan 100 KW terlihat perbedaan emisi yang cukup signifikan karena pada level level beban tersebut variasi pembangkitan masih terjadi , namun pada saat level beban 150 menghasilkan hasil yang sama karena level beban tersebut hamper mencapai maksimal daya yang bisa di tanggung oleh sistem dan daya yang dibangkitkan oleh *fuel cell* dan mikro turbin sudah mencapai batas maksimal, oleh karena itu pada saat beban 150 KW emisi yang dihasilkan sama.

4.2.6 Studi Kasus 6

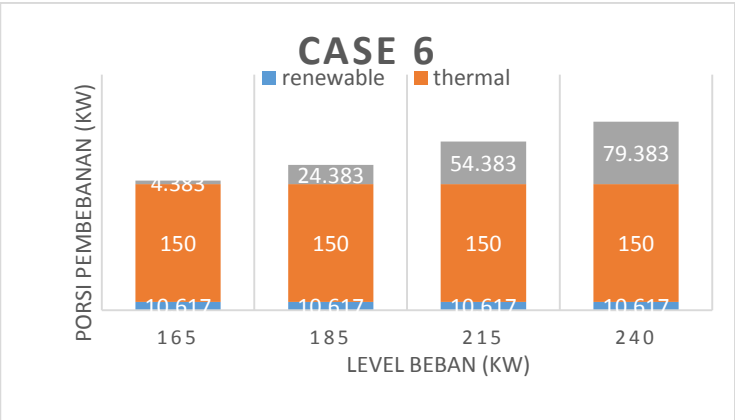
Studi kasus 6 memperlihatkan hasil perhitungan ketika seluruh pembangkit berbahan bakar dioperasikan maksimal tetapi total permintaan beban lebih besar dari daya keluaran seluruh pembangkit di dalam sistem *Micro Grid*, sehingga dibutuhkan bantuan daya PLN untuk memenuhi permintaan beban tersebut, pada studi kasus ini diasumsikan bahwa PLN dapat mensuplai daya yang besar sehingga berapapun kekurangan daya dapat di suplai oleh PLN. Besar parameter pada 4 sub kasus di bawah sama dengan daya pembangkit thermal di set pada batas maksimum , simulasi akan dilakukan pada 4 level beban yang berbeda. Data masukkan dalam simulasi ditunjukkan pada tabel 4.21 dan hasil simulasi pada beberapa level beban ditunjukkan pada tabel 4.22 berikut.

Tabel 4.21 Data inputan pembangkit renewable Studi kasus 6

kasus	Total beban (Kw/h)	kecepatan angin (m/s)	jumlah turbin angin	Radiasi matahari (W / m^2)	Suhu (C)	jumlah sel surya
1	165	17	10	1000	60	40
2	185	17	10	1000	60	40
3	215	17	10	1000	60	40
4	240	17	10	1000	60	40

Tabel 4.22 Hasil simulasi Studi kasus 6

kasus	Total Beban (Kw/h)	Total Daya Renewable (Kw/h)	Total Daya Non Renewable (Kw/h)	Total biaya non renewable (€/kWh)	Total emisi (ton/h)	Total Pembelian Daya (kW/h)
1	165	10.617	150	6846.5	4.5895	4.383
2	185	10.617	150	6846.5	4.5895	24.383
3	215	10.617	150	6846.5	4.5895	54.383
4	240	10.617	150	6846.5	4.5895	79.383



Gambar 4.16 Diagram perbandingan porsi pembebanan pembangkit thermal, renewable dan PLN

Dari hasil simulasi pada tabel 4.22 dan gambar 4.16 ,dapat dilihat total daya yang dibangkitkan oleh pembangkit berbahan bakar sama yaitu 150. Hal itu dikarenakan pembangkit berbahan bakar dioperasikan sesuai dengan rating maksimalnya. Begitu juga dengan total biaya operasi dan total emisinya akan mengikuti daya yang dibangkitkan oleh pembangkit berbahan bakar. Karena data masukan pembangkit *renewable* sama maka daya yang dihasilkannya pun juga sama . Karena seluruh pembangkit tidak mampu untuk memenuhi permintaan beban maka diperlukan daya tambahan dari PLN. Sehingga terdapat biaya tambahan berupa pembelian daya dari PLN seperti yang diperlihatkan pada tabel diatas.

Daya yang harus disuplai oleh PLN berbanding lurus dengan besarnya beban , pada saat beban sebesar 240 KW , daya yang harus disuplai oleh PLN sebesar 79.383 KW . dalam sistem *mikro grid* ada beberapa keadaan dimana PLN tidak selalu bisa mensuplai daya ke sistem *Micro Grid* . namun disini diasumsikan bahwa PLN mempunyai cukup daya untuk menanggung beban ke *Micro Grid* .

4.2.7 Studi Kasus 7

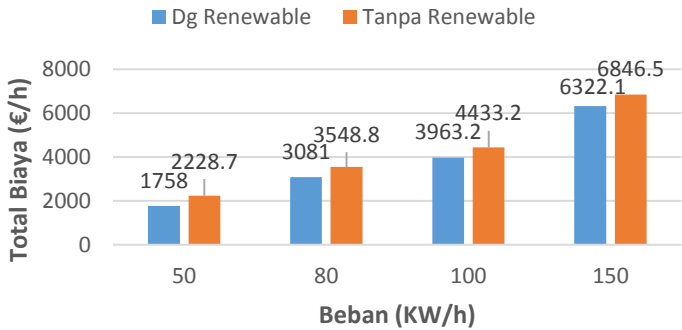
Pada studi kasus ke 7 ini sistem *micro grid* yang hanya di sokong oleh pembangkit thermal akan dibandingkan dengan sistem dengan penambahan *renewable energy* untuk mengetahui efek penambahan renewable energy terhadap biaya dan emisi yang ada *Micro Grid*. Pembangkit renewable diasumsikan tidak memiliki biaya operasi dan juga emisi , pada kasus ini biaya pemeliharaan diabaikan , sistem *Micro Grid* dengan atau tanpa pembangkit renewable akan dibandingkan pada tiap level beban . untuk sistem dengan penambabahan renewable energy , yang menjadi prioritas untuk diminimisasi adalah keduanya yaitu total biaya operasi dan total emisi atau biasa disebut *multi-objective economic emission load dispatch* menggunakan *quadratic programming* seperti pada studi kasus ke 5. Keduanya memiliki kepentingan yang sama. Maka dari itu, parameter w_c dan parameter w_e ditentukan seimbang yaitu 0.5 adapun data masukan pembangkit renewable energy sama dengan berbagai level beban yang berbeda , Data masukkan dalam simulasi ditunjukkan pada tabel 4.23 dan hasil simulasi pada beberapa level beban yang menunjukkan pengaruh penambahan renewable energy dalam sistem *micro grid* ditunjukkan pada tabel 4.24 berikut.

Tabel 4.23 Data inputan pembangkit renewable Studi kasus 7

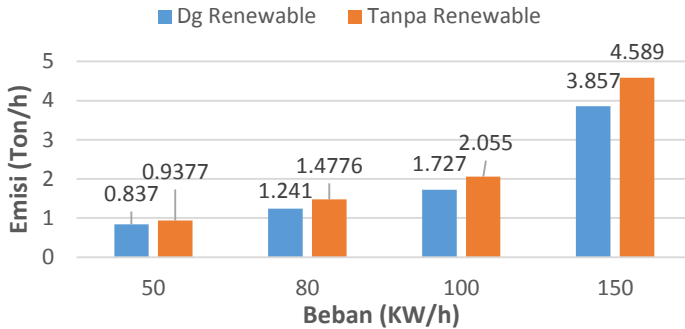
kasus	Total beban (Kw/h)	kecepatan angin (m/s)	jumlah turbin angin	Radiasi matahari (W/m ²)	Suhu (C)	jumlah sel surya
1	50	17	10	1000	60	40
2	80	17	10	1000	60	40
3	100	17	10	1000	60	40
4	150	17	10	1000	60	40

Tabel 4.24 Hasil simulasi Studi kasus 7

Kas-us	Total Beban (Kw/h)	Total biaya		Total Emisi		Total pengurangan	
		dengan Renewable	Tanpa Renewable	dengan Renewable	Tanpa Renewable	biaya (%)	emisi (%)
1	50	1758	2228.7	0.837	0.9377	21.11	10.73
2	80	3081	3548.8	1.241	1.4776	13.18	16.01
3	100	3963.2	4433.2	1.727	2.055	10.60	15.96
4	150	6322.1	6846.5	3.857	4.589	7.65	15.95



Gambar 4.17 Diagram pengaruh penambahan renewable energy terhadap biaya pembangkitan



Gambar 4.18 Diagram pengaruh penambahan renewable energy terhadap emisi

Berdasarkan gambar 4.17 dan 4.18 dapat kita lihat bahwa pengaruh pembangkit renewable cukup signifikan pada level beban 50 kw , ketika kita menggunakan pembangkit renewable energy maka kita dapat menghemat biaya sampai dengan 21,11% dan kita dapat mengurangi emisi sebesar 10.73%. pada level beban 80 kw pengaruh penambahan *renewable energy* yaitu dapat menghemat biaya sampai 13.18 % dan dapat mengurangi emisi sampai 16.01%. pada level beban 100 KW terjadi penghematan biaya sebesar 10.60% dan mengurangi emisi sampai 15.96% dan pada level beban tertinggi yaitu 150 kw terjadi pengurangan biaya dan emisi masing masing sebesar 7.65% dan 15.95%. bila kita cermati hasil diatas tidak linier karena kurva biaya dan kurva emisi berbentuk kuadratik , namun pada level beban kecil efek penambahannya sangat signifikan dan berkurang seiring dengan besarnya beban sistem *micro grid* .

BAB 5

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan Hasil Simulasi dan Analisis *Multi-objective Economic Emission Load Dispatch* menggunakan *Quadratic Programming* yang diaplikasikan dalam sistem dengan variasi pembangkit pada sistem kelistrikan *Micro Grid* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. *Quadratic Programming* dapat digunakan untuk menentukan pembebanan tiap pembangkit dalam sistem *micro grid* sehingga didapatkan biaya dan emisi yang paling minimal.
2. Dalam kasus *multi-objective* Kita dapat mengubah *fuel cost* dan *emission cost* ke dalam satu bentuk fungsi tunggal dengan *price penalty factor*.
3. Program dan metode ini mampu menentukan pembangkit yang dioperasikan serta besarnya daya yang dibangkitkan berdasarkan variasi permintaan beban sehingga beban dapat dipenuhi dengan biaya dan emisi yang paling minimal.
4. Apabila beban lebih kecil dari daya yang dibangkitkan oleh pembangkit berbasis *renewable energy* maka kita dapat menjual sisa daya ke PLN dan sebaliknya apabila semua pembangkit dalam sistem *micro grid* tidak dapat mengcover beban maka kita harus membeli daya dari PLN.
5. Dengan mengatur nilai pembebanan / *weighting factor* pada *Multi-objective Economic Emission Load Dispatch* kita dapat mengatur hasil dari *economic* dan *emission* sesuai dengan keadaan yang kita inginkan . semakin besar porsi pembebanan maka semakin minimal hasilnya
6. Penambahan Pembangkit berbasis *renewable energy* seperti turbin angin dan sel surya membawa pengaruh yang cukup signifikan dalam membantu mengurangi emisi dalam sistem dan meminimalkan biaya pembangkitan karena angin dan cahaya matahari tersedia bebas di alam .

5.2 SARAN

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya pada bidang sistem operasi sistem tenaga berdasarkan hasil simulasi dan analisis pada Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat memasukkan ramp rate dan membuat program sebagai *dynamic multi-objective economic emission dispatch*
2. Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut dengan melibatkan *optimal power flow (OPF)* sehingga dapat diketahui aliran daya tiap saluran dan tegangan bus sistem.
3. Metode *quadratic programming* yang digunakan dapat diganti dengan metode lain seperti kecerdasan buatan misalnya *PSO*, *Ant Colony Optimization*, *Artificial Bee Colony*, *bat algorithm*, dll.

LAMPIRAN

PROGRAM UTAMA

```
clear;
clc;
% MULTIOBJECTIVE ECONOMIC EMISSION LOAD DISPATCH
%MENGGUNAKAN QUADRATIC PROGRAMMING PADA
%PEMBANGKIT YANG BERVARIASI DENGAN PENAMBAHAN
%TENAGA ANGIN
%----- -IDRUS FATKHUL HUDA 2211100702-----

% data biaya berturut turut adalah koefisien
%fungsi biaya dan batas batas masing masing
%plant.
%          (€/KW^2)   €/KW   (€) Lower (KW) upper (KW)
databiaya=[0.01      45      12      5      25
            0.01      40      10      5      50
            0.01      48      12      5      75];

% dataemisi berisi koefisien fungsi emisi pada
masing masing plant.
%          a1(ton/KW^2)   b1 ton/KW   c1 (ton)
dataemisi=[0.00017      0.00041      0.01045
            0.00039      0.00063      0.62986
            0.00049      0.00070      0.01745];

% Pd adalah nilai pembangkitan yang ditanggung
%oleh diesel(MW)
beban =input('masukkan total beban (KW)=') %kW

% h1 1nd h2 adalah "price penalty factor"
antara nilai
% biaya dan nilai emisi. karena dalam progam ini
kita ubah ke dalam 1 buah
% persamaan multiobjectif
h1=1;
h2=input('masukkan price penalty factor (€
/ton)=')
```

```

v=input('masukkan Kecepatan Angin (m/s)=')
J=input('masukkan Jumlah Turbin Angin=')
G=input('masukkan Radiasi matahari= (W/m2)=')
T=input('masukkan Suhu (celcius)=')
M=input('masukkan Jumlah Sel surya =')
wc=input('masukkan weighting factor ekonomi
(skala 0-1) =')
we=1-wc
% Rugi rugi saluran diabaikan , nilainya dibuat
sangat kecil
B=1e-20*[0.1    0.1    0.1
          0.1    0.1    0.1
          0.1    0.1    0.1];

Pw = WindTurbine(v,J);           % dalam kw
Ppv = PhotoVoltaic(G,T,M);       % dalam kw
totaldayarenewable=Pw+Ppv;
Pd=beban-(Pw+Ppv);

n=length(databiaya(:,1));
%matriks 1 X n(kolom)
a=databiaya(:,1);
b=databiaya(:,2);
c=databiaya(:,3);
l=databiaya(:,4);
u=databiaya(:,5);
a1=dataemisi(:,1);
b1=dataemisi(:,2);
c1=dataemisi(:,3);
P=1;
if beban <= Pw+Ppv
    beban
    Pw
    Ppv
    totaldayarenewable
    Pjual = (Pw+Ppv)-beban
else
    if beban <= Pw+Ppv+sum(l)
        beban
        Pw

```

```

        Ppv
        totaldayarenewable
        PbelidrPLN=beban- (Pw+Ppv)
    else
        if beban >= Pw+Ppv+sum(u)
            for i= 1:n
                beban
                totaldayarenewable
                totaldayathermal=sum(u)
                PbelidariPLN = beban-
                (Ppv+Pw+sum(u) )
                biayaPthermalsaatmax(i) =
                a(i)*u(i)^2+b(i)*u(i)+c(i)
                totalbiayaPthermalsaatmax
                =sum(biayaPthermalsaatmax)
                emisiPthermalsaatmax(i) =
                a1(i)*u(i)^2+b1(i)*u(i)+c1(i)
                TotalEmisi=sum
                (emisiPthermalsaatmax)

                disp('-----')
            end
        else
            for i=1:5 %1 sampai 5
                Pl=0;
                for j = 1:n
                    for k = 1:n
                        Pl =
                        Pl+B(j,k)*P(k)*P(j);
                    end
                end
                Aeq=ones(1,n);
                A1=inv(11)*(wc*h1*a+we*h2*a1);
                B1=inv(11)*(wc*h1*b+we*h2*b1);
                H=2*diag(A1);
                P=quadprog(H,B1,[],[],Aeq,Pd1,
                l,u);
                totalbiaya=a'*(P.*P)+b'*P+
                sum(c);
            end
        end
    end
end

```

```

                                totalemisi=a1'*(P.*P)+b1'*P+sum
(1);
                                end
                                Pw
                                Ppv
                                P
                                totalbiaya
                                totalemisi
                                end
                                end
                                end
                                disp('-----
                                -----')

```

SUB PROGRAM SEL SURYA

```

%=====
%
% Memodelkan photovoltaic SOLAREX MSX-83
%=====
%=====

function Ppv = PhotoVoltaic (G,T,M)           %
Pembangkitan PV dalam kW
Pstc = 83;                                   % Daya maksimum PV saat
STC dalam W
Gstc = 1000;                                % Irradiasi PV saat STC
dalam W/m2
k = -0.5;                                   % Koefisien temperatur
untuk daya dalam %/Celcius
Tr = 25;                                    % Temperatur referensi
dalam Celcius
Ppv = (Pstc*(G/Gstc)*(1+((k/100)*(T-
Tr))))*M)/1000;
end

```

SUB PROGRAM TURBIN ANGIN

```

%=====
% Memodelkan wind turbine AIR403
%=====

function Pwt = WindTurbine (v,J)    %
Pembangkitan WT dalam kW
Vac = v;
Vci = 3.5;           % Kecepatan angin cut in
dalam m/s
Vr  = 17.5;          % Kecepatan angin rating
dalam m/s
Vco = 18;            % Kecepatan angin cut out
dalam m/s
if Vco > Vr
    if Vac < Vci,
        Pwt = 0;
    end
    if Vac >= Vci,
        if Vac < Vr,
            Pwt = (((3.4 *(Vac^2)) + (-12*Vac) +
(9.2)))/1000)*J;
        else
            Pwt = (130/1000)*J;
        end
    end
end
end
end

```

UJI VALIDASI

```

clear;
clc;
% MULTIOBJECTIVE ECONOMIC EMISSION LOAD DISPATCH
MENGGUNAKAN QUADRATIC
%PROGRAMMING UNTUK TES VALIDASI BERDASARKAN PAPER
IEEE

```


-----IDRUS FATKHUL HUDA - 2211100702-----

% databiaya berturut turut adalah koefisien
fungsi biaya dan batas batas
% masing masing plant.

```
%          ($/MW^2)  $/MW ($) lower(MW) upper(MW)
databiaya=[0.15247 38.53973 756.79886 10    125
            0.10587 46.15916 451.32513 10    150
            0.02803 40.3965  1049.9977 35    225
            0.03546 38.30553 1243.5311 35    210
            0.02111 36.32782 1658.5596 130   325
            0.01799 38.27041 1356.6592 125   315];
```

% dataemisi berisi koefisien fungsi emisi pada
masing masing plant.

```
%          a1 (Kg/MW^2) b1 Kg/MW      c1 (Kg)
dataemisi=[0.00419  0.32767      13.85932
            0.00419  0.32767      13.85932
            0.00683 -0.54551      40.2669
            0.00683 -0.54551      40.2669
            0.00461 -0.51116      42.89553
            0.00461 -0.51116      42.8955];
```

% h1 lnd h2 adalah "price penalty factor"
antara nilai

% biaya dan nilai emisi. karena dalam program ini
kita ubah ke dalam 1 buah

% persamaan multiobjectif

h1=1; h2=44.788

% Pd adalah nilai pembangkitan(MW)

Pd=700;

% B adalah koefisien rugi rugi saluran, ada dua
cara mengetahui rugi rugi

% saluran yaitu melalui loadflow dan melalui
koefisien rugi rugi, di bawah

% ini adalah matrik koefisien rugi rugi tersebut

```
B=1e-4*[1.4 .17 .15 .19 .26 .22
        .17 .6  .13 .16 .15 .2
```

```

        .15 .13 .65 .17 .24 .19
        .19 .16 .17 .71 .3 .25
        .26 .15 .24 .3 .69 .32
        .22 .2 .19 .25 .32 .85];

n=length(databiaya(:,1));
Aeq=ones(1,n); %matriks 1 X n(kolom)
a=databiaya(:,1); % koefisien kuadratik fungsi
biaya
b=databiaya(:,2); % koefisien linier fungsi
biaya
c=databiaya(:,3); % konstanta fungsi biaya
l=databiaya(:,4); % batas bawah
u=databiaya(:,5); %batas atas
a1=dataemisi(:,1);% koefisien kuadratik fungsi
emisi
b1=dataemisi(:,2);% koefisien linier fungsi
emisi
c1=dataemisi(:,3);% konstanta fungsi emisi
P=1;

% Multi objektif Function
sb_x = [];
sb_x_pareto = [];
sb_y_Totalbiaya = [];
sb_y_Totalemisi = [];
sb_y_pareto = [];
% untuk mendapatkan hasil padaberbagai nilai
weighting factor, program di running mulai dari
wc = 0 sampai wc = 1
for wc = 0:0.05:1
    we = 1-wc
    wc
    for i=1:5 %1 sampai 5
        % menghitung losses
        Pl=0;
        for j = 1:n
            for k = 1:n
                Pl = Pl+B(j,k)*P(k)*P(j);

```

```

        end
    end
    Pd1=Pd+Pl;
    A1=inv(l1)*(wc*h1*a+we*h2*a1);
    B1=inv(l1)*(wc*h1*b+we*h2*b1);
    P=quadprog(H,B1,[],[],Aeq,Pd1,l,u);
    Totalbiaya=a'*(P.*P)+b'*P+sum(c);
    Totalemisi=a1'*(P.*P)+b1'*P+sum(c1);
end
P
Totalbiaya
Totalemisi
Pl
disp('-----
-----')

% subprogram untuk plot
sb_x = [sb_x;wc];
sb_x_pareto = [sb_x_pareto;Totalemisi]
sb_y_Totalbiaya =
[sb_y_Totalbiaya;Totalbiaya];
sb_y_Totalemisi =
[sb_y_Totalemisi;Totalemisi];
sb_y_pareto = [sb_y_pareto;Totalbiaya];
end

subplot(2,2,1)
plot(sb_x,sb_y_Totalbiaya,'LineWidth',1.5)
grid on
xlabel('Weighting Factor(wc)','FontSize',12)
ylabel('Biaya Pembangkitan (Rs)','FontSize',12)
title('Kurva Biaya terhadap Weighting
Factor','FontWeight','bold','FontSize',12)

subplot(2,2,2)
plot(sb_x,sb_y_Totalemisi,'LineWidth',1.5)
grid on
xlabel('Weighting Factor(wc)','FontSize',12)
ylabel('Emisi (Ton/Hr)','FontSize',12)

```

```

title('Kurva Emisi terhadap Weighting
Factor','FontWeight','bold','FontSize',12)
subplot(2,2,3)
plot(sb_x_pareto,sb_y_pareto,'LineWidth',1.5)
grid on
xlabel('Total biaya','FontSize',12)
ylabel('Total Emisi (Ton/Hr)','FontSize',12)
title('pareto optimal curve'
,'FontWeight','bold','FontSize',12)

% -----END-----
-----

```

-Halaman ini sengaja dikosongkan-